
UNIVERSITY OF ALBERTA
QUAECUMQUE VERA

Plus on avancera dans la connaissance du mécanisme des cours d'eau, plus on constatera l'équilibre parfait qui existe dans le domaine comme ailleurs dans la nature entière. L'ingénieur qui, par ses travaux, vient rompre l'équilibre, devra bien se rendre compte des conséquences résultant du nouvel état de choses qu'il crée, sous peine de s'exposer aux plus graves mécomptes; il ne le pourra qu'en connaissant parfaitement les lois de la nature qui régissent l'écoulement des eaux.

René Koechlin (2)

UNIVERSITE DE L'ALBERTA

ETUDE DE L'EXHAUSSEMENT DU LIT A L'AMONT D'UN RESERVOIR.

Dissertation

soumise à l'école des gradués en accomplissement partiel des requis pour l'obtention d'une maîtrise en science.

Département de génie civil

par

Bernard Harvey

UNIVERSITE DE L'ALBERTA

ECOLE DES GRADUES

Les soussignés certifient avoir lu, et recommander l'acceptation par l'école des gradués de la thèse intitulée: "Etude de l'exhaussement du lit à l'amont d'un réservoir", soumise par Bernard Harvey, en accomplissement partiel des requis pour l'obtention d'une maîtrise en science.

ENGLISH ABSTRACT

STUDY OF THE AGGRADATION UPSTREAM OF A RESERVOIR

When on an alluvial stream, a dam is built to store water, most of the sediments carried by the river are deposited in the reservoir and further upstream. The back water curve moves upstream because of the deposits. One can visualise the aggradation of the bed as a series of sediment waves moving upstream until they reach an obstacle (rapids, another dam, etc.)

A literature survey showed two main schools of thought. Some writers, mainly geologists, believe that change of the base level, caused by the construction of a dam on a sediment bearing stream, can only be compensated by an aggradation of the bed equal to the head imposed by the dam. Others, on the contrary, argue that the river will adjust itself so as to absorb the change in base level without showing aggradation above maximum reservoir elevation. Facts prove that the first theory is right within the limits imposed by physical possibilities.

Aggradation in the Washita river is given as an example of deposition caused by an artificial reservoir.

In the laboratory, conditions similar to those of an alluvial river flowing into a reservoir were studied. To eliminate the width of the river and the changes in the meander pattern as variables a rectangular one foot flume with movable bed was used with a discharge of 0.053 cfs and charges of 12.68 and 5.28 parts/100,000. After regime slope was reached for a given discharge and sediment load it was possible to observe a displacement of the entire profile to a higher elevation simultaneously over the total length of the flume.

REMERCIEMENTS

L'auteur est particulièrement reconnaissant envers les autorités du ministère des richesses naturelles de la province de Québec pour le congé accordé pour fin d'études post-gradués. L'encouragement et l'aide apporté dans la réalisation de ce projet par monsieur C.E. Deslauriers, Ing. P., directeur des services hydrauliques du même ministère, ont été grandement appréciés.

Au professeur J.P. Verschuren pour sa direction éclairée de la partie expérimentale et de la rédaction de cette thèse et au Dr. T. Blench pour ses précieux conseils, nous désirons manifester notre reconnaissance.

TABLE DES MATIERES.

LISTE DES TABLEAUX

LISTE DES FIGURES

LISTE DES PHOTOGRAPHIES

1- INTRODUCTION.

Le développement rapide de l'industrie et de l'agriculture durant les dernières décades ainsi que la croissance simultanée de la population ont imposé, sur presque tout le continent, une nouvelle évaluation du cycle de l'eau et de son utilisation pour fins industrielles, ménagères, récréatives ou d'irrigation.

1.1 LE PROBLEME.

On ne fut pas long à constater que les multiples réservoirs créés pour fin de production d'électricité, d'emmagasinement d'eau potable, de contrôle des crues, d'irrigation ou de récréation avaient tendance à l'envasement. On constata aussi, dans la rivière d'apport, de nombreux dérangements: (a) exhaussement du lit causant une augmentation des dangers d'inondation et de déposition d'alluvions stériles dans la plaine, une élévation de la nappe phréatique, l'atterrissement des prises d'eau, la dévaluation des ponts et digues devenus trop bas, l'alluvionnement des canaux d'irrigation, etc., (b) accroissement plus ou moins marqué de la sinuosité du cours d'eau, (c) élargissement possible de la section d'écoulement.

Une nouvelle branche du génie hydraulique se développa rapidement à la recherche de solutions à ces problèmes ainsi qu'à tous ceux causés par l'intervention de l'homme dans le complexe phénomène du transport d'alluvions par les cours d'eau. Lane (10) l'appelle génie sédimentologique.

L'unanimité ne se fit pas parmi les spécialistes. Certains (surtout des géologues) affirmaient qu'un exhaussement du lit d'une hauteur

égale à la tête imposée par le barrage serait la conséquence ultime de la construction de ce dernier. Tandis que d'autres maintenaient que les variables internes de la rivières s'ajustaient rapidement après la construction d'un réservoir et empêchaient ainsi l'exhaussement. La première théorie est exacte, toutefois elle ne peut pas toujours être appliquée dans son intégrité; il faut tenir compte de raisons physiques.

1.2 DEFINITIONS.

1.2.1 Rivière en régime:

Le concept de rivière en régime ou de rivière en équilibre ne s'applique qu'à des rivières alluviales ou à l'un ou plusieurs de leurs tronçons. Une rivière ou un tronçon est considéré être en régime ou en équilibre, quand ses dimensions moyennes telles que pente, largeur, profondeur, longueur des sinuosités, etc. ne changent pas appréciablement durant une période de plusieurs années, (Blench, 21). La rivière en régime est un système en équilibre; sa caractéristique est que tout changement dans n'importe lequel de ses facteurs dominants causera un déplacement de l'équilibre dans une direction qui tendra à absorber les effets du dérangement, (Mackin, 12).

1.2.2 Sédiment, alluvion:

Tout matériel transporté par l'eau courante soit sous forme de suspension ou comme charge de fond. Nous distinguons les catégories suivantes:

1- argile: diamètre des particules plus petit que 0.002 mm.

2- limon: diamètre des particules compris entre 0.002 mm. et 0.06 mm.

3- sable: diamètre des particules compris entre 0.06 mm. et 2 mm.

4- gravier: diamètre des particules compris entre 2 mm. et 60 mm.

5- galet: diamètre des particules plus grand que 60 mm.

1.2.3 Charge:

Quantité de sédiments transportés par la rivière; on l'exprime par le rapport du poids des alluvions sèches au poids de l'eau passant une section donnée par unité de temps, (Blench, 21). On distingue deux modes de transport: suspension, les matériaux font, à tout moment, partie de l'écoulement et charriage qui correspond aux éléments les plus gros des alluvions transportés qui glissent ou roulent sur le lit du chenal, ou sautent de la crête d'une ride à une autre si la vitesse est suffisamment grande. Lorsqu'une particule est, par avulsion, individuellement soulevée du lit et fait partie durant un court instant de l'écoulement pour ensuite retomber, on est alors en présence du phénomène de saltation.

1.2.4 Compétence:

Mesure de la capacité d'une rivière de transporter des sédiments en fonction de la grosseur des particules.

1.2.5 Cote ou niveau de base:

Niveau de l'océan, lac ou confluent où une rivière se jette. On peut aussi qualifier de cote de base locale un certain tronçon de la rivière influançant le profil en amont.

2- PROCEDE D'ALLUVIONNEMENT A L'AMONT D'UN RESERVOIR.

Les changements causés, dans l'écoulement du complexe eau-sédiments, par la création d'un réservoir artificiel sont décrits dans ce chapitre.

2.1 DONNEES THEORIQUES.

Toute rivière alluviale possède quatre degrés de liberté ou variables fondamentales: profondeur, largeur, pente et système de méandre dépendants de l'hydrogramme annuel, de la charge et des matériaux de formation du lit et des berges. Ces quatres variables peuvent, plus ou moins, entrer en conflit avec l'application rigoureuse de la loi générale de Le Chantelier, cité par J.H. Mackin (12): "Si une contrainte est appliquée sur un système en équilibre, une réaction se produit, déplaçant l'équilibre dans une direction qui tend à absorber l'effet de la contrainte." (p. 492)

Dans le cas étudié ici, il s'agit du déplacement du niveau de base à une cote plus élevée. Toujours selon J.H. Mackin:"le niveau de base contrôle la cote ou élévation à laquelle le profil est développé mais n'influence pas la pente du profil." (p. 490)

Théoriquement donc le thalweg de la rivière en amont d'un réservoir serait exhaussé d'une hauteur égale à celle du barrage créant la retenue. Cette théorie voit son application rigoureuse seulement dans quelques cas exceptionnels (sections: 2.1.2, 2.1.3, etc.). Dans les rivières naturelles, la loi de Le Chantellier conserve toute sa véracité mais la

réaction à une élévation du niveau de base se voit atténuée par les dérangements apportés aux quatres variables mentionnées plus haut.

On doit tenir compte ici de l'élément temps; l'ingénieur n'en a pas la même conception que le géologue.

Le temps d'exhaussement d'une rivière est fonction directe de son débit solide; mais, même dans le cas d'une très grande charge, il ne faut pas oublier qu'en général l'aggradation du lit implique, à un moindre degré, celle de la vallée.

Nous sommes donc en présence d'un procédé lent mais inévitable où l'ingénieur aurait tout avantage à adopter le point de vue du géologue. Il est d'ailleurs incompréhensible, qu'après avoir calculé la crue millénaire ou dix-millénaire, l'ingénieur ne se préoccupe pas des dérangements majeurs des caractéristiques de la rivière que son action peut causer durant ces mille ou dix-mille ans.

Plus bas nous donnons le procédé de sédimentation pour une rivière en régime transportant un assez grand débit solide; la rivière se jette dans un réservoir dont le niveau est maintenu constant pour toute fin pratique. Nous traitons l'écoulement comme s'il était bi-dimensionnel.

2.2 HYDRAULIQUE.

Lorsque, par la construction d'un barrage, un réservoir est créé, aussitôt les conditions d'écoulement de la rivière d'apport sont radicalement modifiées sur le tronçon immédiatement à l'amont.

Une zone d'écoulement graduellement varié relie la rivière au réservoir. Cette zone de transition est caractérisée généralement par une courbe de remous du type M1; soit une diminution lente et progressive de la vitesse (jusqu'à ce qu'elle devienne zéro dans le réservoir) et partant de la compétence.

2.3 - SEDIMENTOLOGIE.

2.3.1 Naissance du delta.

L'alluvionnement dans la section d'écoulement graduellement varié donne naissance au delta qui peut être divisé en trois parties:

(1) couche inférieure

(2) couche antérieure

(3) couche supérieure

Ces trois différentes zones représentent chacune un mode de déposition et des alluvions différents, figure no: 1.

La couche inférieure est formée des sédiments transportés par les courants de densité. C'est donc dire que les alluvions déposées sont très fines. Il est possible dans le cas de petits barrages ou de seuils, que ces fins sédiments soient évacués avec les crues.

La couche antérieure est caractérisée par un écoulement rapidement varié (Jopling, 23), donc déposition rapide de sédiments de grosseur moyenne entraînant une forte pente.

En raison de l'écoulement graduellement varié, la couche supérieure présente une gradation très définie des matériaux. L'exhaussement graduel de cette couche produit un déplacement vers l'amont de la courbe de remous.

2.3.2 Exhaussement du lit.

De plus amples études devront être poursuivies avant que nous puissions décrire dans toute sa complexité le procédé d'alluvionnement du lit d'une rivière à l'amont d'un réservoir. La description donnée plus bas se veut logique.

En amont de la courbe de remous l'écoulement est uniforme: nous considérons à toute fin pratique, une section constante. Y_n est la profon-

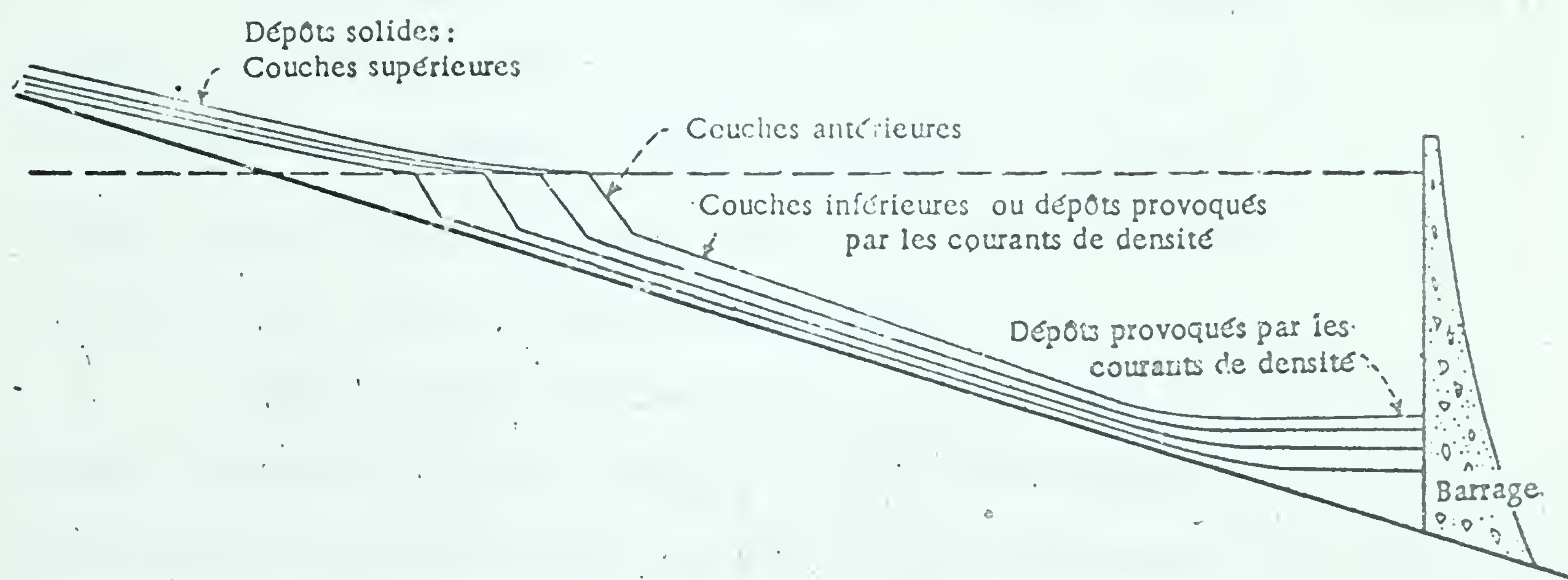


FIGURE NO: 1 PROFIL LONGITUDINAL D'UN RESERVOIR ARTIFICIEL.

deur normale, figure no: 2. A partir de la section AA (tête de la courbe de remous) l'écoulement devient graduellement varié (voir section 2.2); la profondeur augmente et la vitesse diminue entraînant la déposition sélective des sédiments selon leur grosseur et densité. Ceci, comme nous l'avons vu plus haut, donne naissance au delta.

Après un certain temps, les alluvions se sont accumulées formant un coin de sédiments abc. Cet atterrissement a comme effet une diminution appréciable de la pente du lit. L'équilibre antérieur est donc détruit, figure no: 2-a.

L'augmentation de la profondeur d'écoulement absorbe en grande partie (du moins à ce stage préliminaire) le déséquilibre. Comme le niveau du réservoir est constant, la seule possibilité d'augmentation de la profondeur est un déplacement vers l'amont de la tête de la courbe de remous et partant de la zone de sédimentation, figure no: 2.

Après un certain temps un autre coin de sédiment a'b'c' s'est formé, englobant le premier, figure no: 2-b. Nous sommes encore en présence d'un nouveau déséquilibre qui entraîne un autre déplacement vers l'amont de la courbe de remous et ainsi d'étape en étape le procédé se répète.

On peut visualiser l'aggradation du lit comme une vague de sédiments (les plus grossiers) se déplaçant vers l'amont jusqu'à ce qu'un obstacle (chute, rapides ou un autre barrage) vienne mettre fin à sa progression.

De nombreuses questions se posent quant à la genèse du nouveau lit. A savoir: la ou les lois régissant l'épaisseur des couches, le sens de progression de la seconde vague de sédiments, à quel stage et dans quelle mesure l'exhaussement du lit entrera-t-il en conflit avec l'équilibre préalable de la rivière entraînant un changement dans les variables fondamentales, etc..

En plus de l'effet d'aggradation de la vague de sédiments discuté plus haut, il faut aussi tenir compte que, dû à l'avancement de delta dans

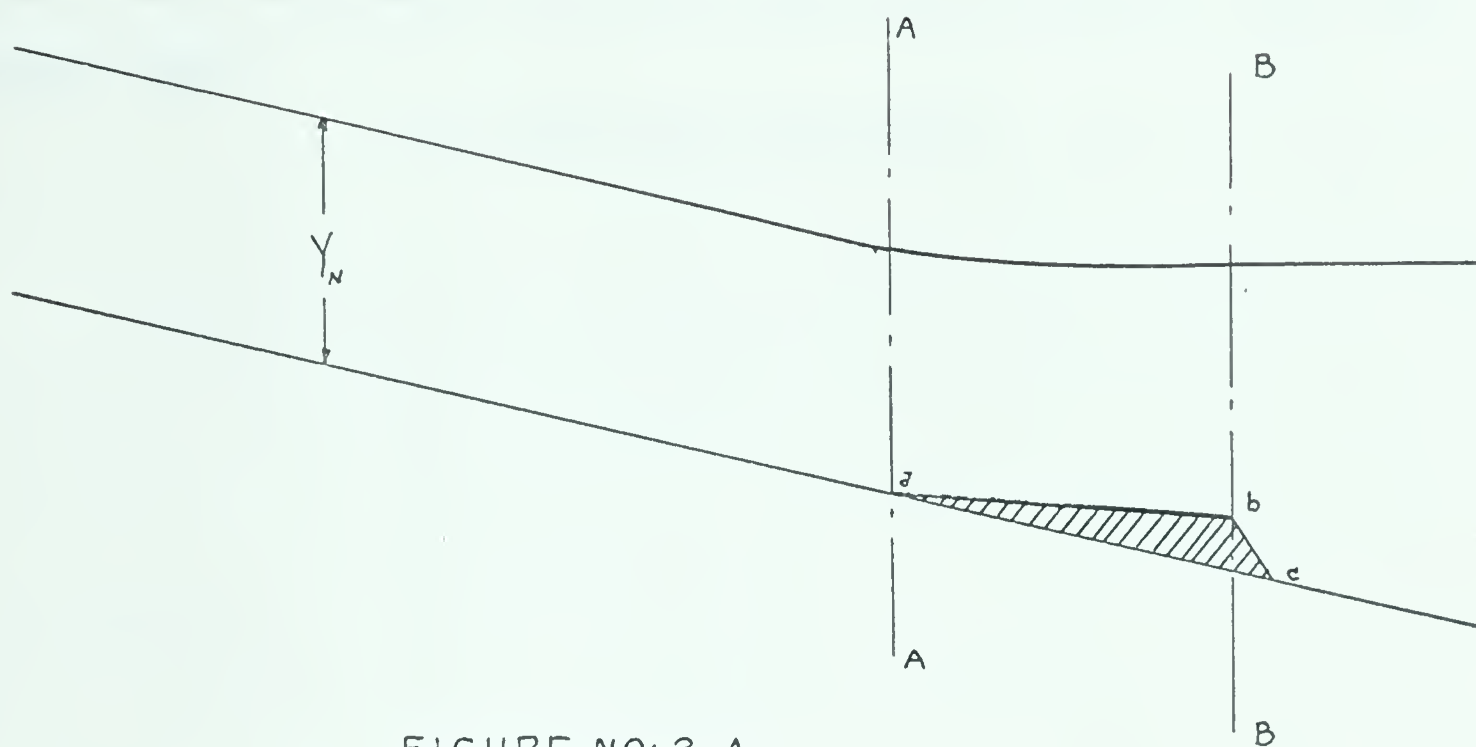


FIGURE NO: 2-A

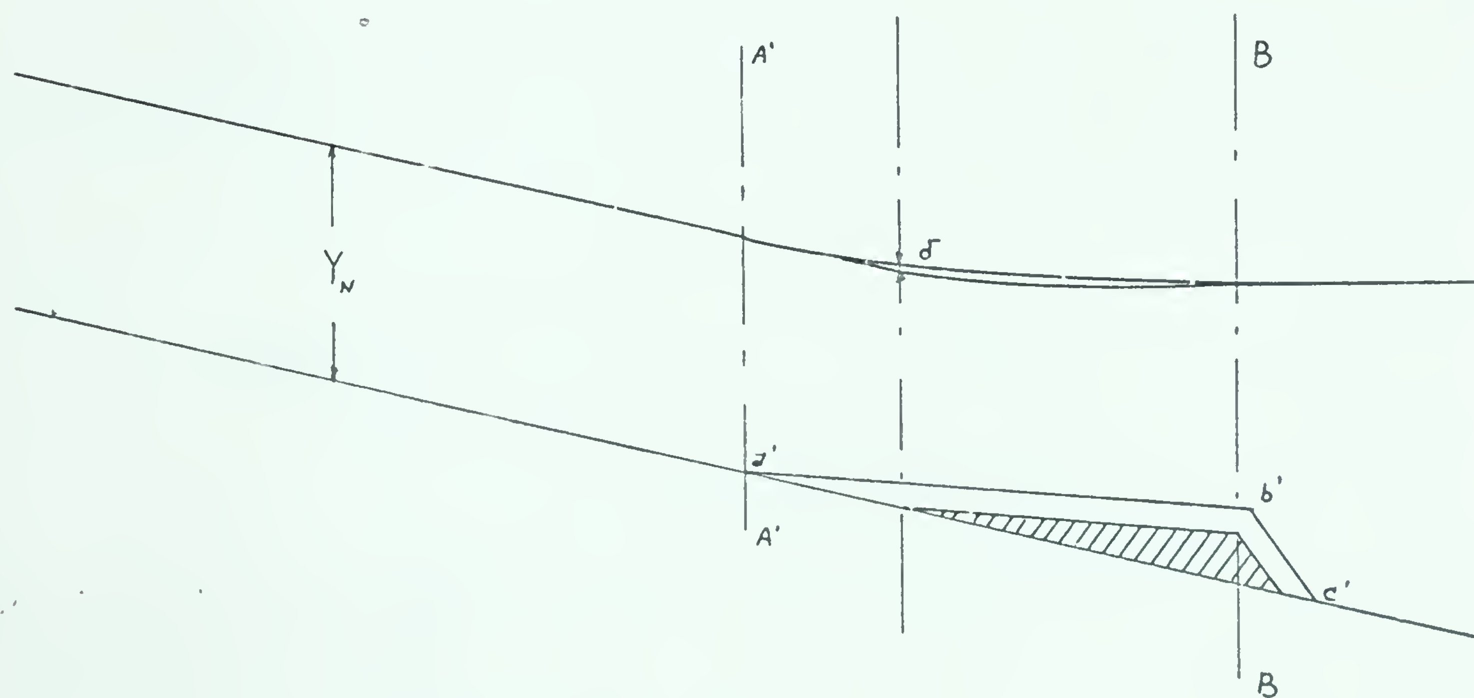


FIGURE NO: 2-B

PROCEDE D'EXHAUSSEMENT DU LIT

le réservoir, la rivière s'allonge. Pour regagner sa pente originale (nécessaire à l'écoulement du complexe eau sédiments) la rivière n'a qu'un choix, vu que la cote de la partie avale est fixée par le réservoir, c'est d'exhausser l'amont.

3. REVUE DE LA LITTERATURE.

Les ouvrages traitant spécifiquement du sujet de cette étude sont très rares. La plupart des livres et articles se rapportaient à un plus vaste domaine, soit de l'hydraulique fluviale, soit de la géomorphologie.

3.1 HISTORIQUE.

3.1.1 La plus ancienne mention du problème de l'exhaussement du lit à l'amont d'un réservoir que nous ayons trouvée, date de 1901 et est due à E.G. Harris (1).

Ce dernier synthétise en trois étapes "l'inévitable déposition de sédiments dans le réservoir causé par une obstruction."

(a)- Effet premier: le barrage ou seuil crée une courbe de remous qui peut être calculée hydrauliquement.

(b)- Effet intermédiaire: les sédiments transportés par la partie temporairement indemne de la rivière sont déposés, dû à la diminution de vitesse, à l'amont du réservoir où ils seront distribués selon leur densité et grosseur.

(c)- Effet final: par la déposition de couches successives de sédiments, un exhaussement du lit égal à la hauteur du barrage est produit. La rivière a repris sur son cours entier sa pente originale.

La figure 3 reproduit les trois diagrammes explicatifs que l'au-

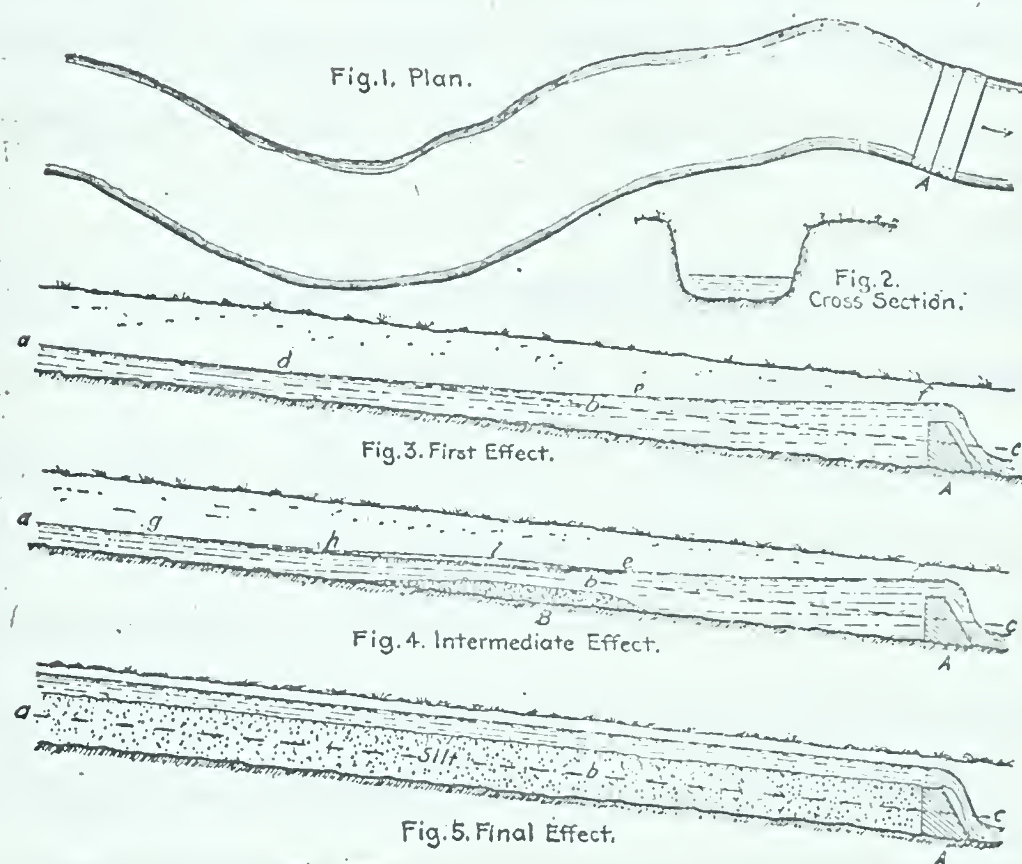


FIGURE NO: 3 ILLUSTRATION DE L'EFFET D'UN BARRAGE CONSTRUIT SUR UNE RIVIERE TRANSPORTANT DES SEDIMENTS.

teur publie à l'appui de sa théorie.

Harris ayant posé, à priori, les conditions suivantes: débit et section d'écoulement constants et sédiments de caractère uniforme, son raisonnement, ne tenant pas compte de la possibilité d'ajustement des autres variables fondamentales d'une rivière, donne, tout de même, une juste idée du procédé de sédimentation. Son ignorance du phénomène des courants de densité (inconnu en Amérique à cette époque) l'empêche de visualiser la coincidence de l'envasement du réservoir et de l'aggradation du lit.

3.1.2 Trente-cinq ans plus tard Sonderegger (3) démontrait les conséquences, sur l'équilibre physiographique, de certains développements modernes: déboisement abusif, régularisation du débit des rivières, construction de seuils pour amasser les sédiments ("débris barrier").

Traitant du problème des seuils à débris il écrit:"...la pente ultimement produite à l'amont d'un seuil ne sera pas matériellement différente de celle maintenue par le vieux lit, excepté pour la modification apportée par la plus grande largeur du canyon. Ce dernier effet tendra à produire une pente plus raide à cause des conditions moins favorables du canal". (p. 298)

A titre d'exemple Sonderegger cite le cas de la rivière Santa Ana, Californie méridionale. La rivière s'écoulait originellement sur une pente abrupte de 3.2%, transportant des sédiments exceptionnellent grossiers, constitués principalement de gros galets. Un arpentage en date de 1932 montre que la rivière en amont du seuil a été remplie jusqu'à une pente de 3% sur les premiers 1000 pieds.

Il serait intéressant ici de connaître les développements ultérieurs de l'exhaussement, sans doute que la vague d'alluvions a continué sa progression vers la tête de la rivière.

3.1.3 En 1936 paraissait l'article de Stevens (4) sur les problèmes causés par les sédiments. Ce travail n'est pas le premier sur la question mais il eut pour effet un réveil des spécialistes sur les problèmes de l'envasement des réservoirs et de l'exhaussement du lit à l'amont.

M. Stevens écrit:"Un barrage en travers d'une rivière cause non seulement le remplissage, par les sédiments, de l'espace des eaux dormantes mais aussi la déposition d'alluvions sur une longue distance à l'amont."

Il donne à l'appui de sa théorie, le cas d'un seuil sur le "Bear Creek" près de Colpax, Californie. La figure no: 4 reproduit celle donnée par M. Stevens. Encore ici, les sédiments sont grossiers.

Les nombreuses discussions qui firent suite à l'article prouvent l'intérêt apporté au sujet. La polémique sur la ou les causes de l'aggradation du lit de la rivière Rio Grande (E.U.) prit naissance lors de ces discussions. Les nombreux barrages construits sur ce cours d'eau sont-ils la cause de cet alluvionnement du lit? Ou n'ont-ils aucun effet? Nous n'avons pas, malheureusement, en main les données nous permettant d'y voir clair. Toutefois, les fait et opinions exprimés sur le sujet, seront cités, laissant à une étude plus exhaustive, le soin de conclure.

3.1.4 N.F. Blaney (5) déclare:"Des arpentages faits en 1934 montrent un exhaussement du lit de 7 pieds depuis 1918 à La Soya (peu en aval de l'embouchure de la rivière Rio Puerco); à Alburquerque de 2 à 4 pieds; et à Alameda de 1 à 3 pieds."

Le Rio Purco se jette dans le Rio Grande à approximativement 95 milles en amont du barrage Elephant Butte (complété en 1916), Albuquerque est situé 40 milles en amont du même barrage et Alameda 155 milles.

3.1.5 A.G. Kaetz et L.R. Rich (6) mesurèrent, en 1939, la pente des alluvions accumulés en amont de seuils à débris sur de petites rivières

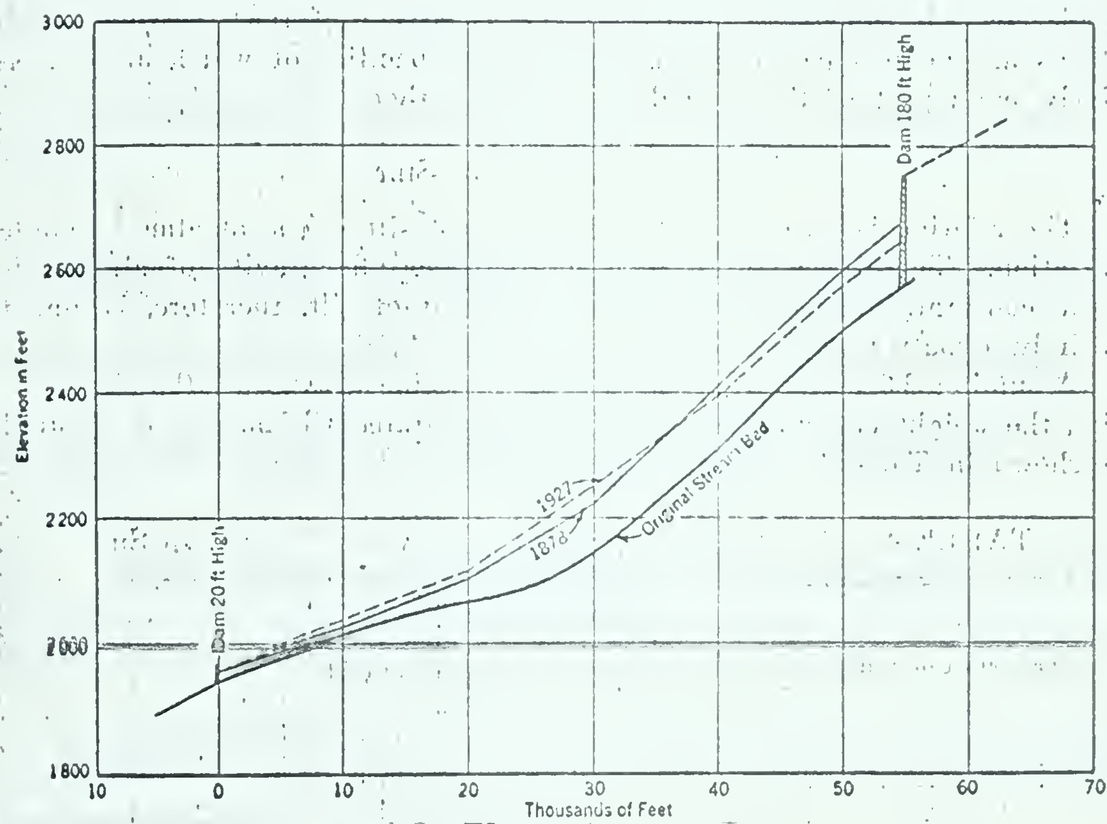


FIGURE NO: 4   SEUIL A DEBRIS SUR LA RIVIERE "BEAR CREEK".

du sud des Etats Unis.

Les auteurs donnent leurs résultats dans un rapport non publié du "U.S. Soil Conservation Service". Malheureusement nous n'avons pu obtenir à temps un prêt de ce rapport. Toutefois, le tableau no: 1 présente un résumé du résultat de ces arpentages tel que publié par Leopold, Wolman et Miller (24).

La première constatation qui nous vient à l'esprit à la lecture de ce tableau est la très courte période écoulée depuis la construction du barrage. Dans la majorité des cas cités, cette période n'excède pas cinq ans.

Leopold, Wolman et Miller (24) publie aussi des arpentages postérieurs de Myrick sur quelques-uns des sites de Katz et Rich. A la section 3.1.19 les deux séries de résultats seront comparées.

3.1.6 Nous devons à T.A.W. Foy (7) la première contribution de l'école indienne sur les variations du niveau de régime. Il résume en un paragraphe les changements causés, sur la partie amont de la rivière, par la construction d'un seuil ou barrage.

"...diminution de la pente de cette partie de la rivière; qui est subséquemment suivie par une restauration de la pente originale. Ceci signifie qu'en amont du seuil, la cote du lit va s'élever éventuellement de la quantité de tête imposée par le seuil et cette surélévation va s'étendre en amont jusqu'à ce qu'un obstacle, un autre barrage ou une partie particulièrement abrupte de la rivière, mette fin à la progression."

Les nombreuses données receuillies sur le système de canalisation de l'"Indus" par Foy font de son ouvrage une étape importante de la recherche sur les dérangements causés par les ouvrages d'art en rivière. Il nous est impossible de reproduire ici les nombreux exemples cités par l'auteur à l'appui de sa théorie.

TABLEAU NO: 1 RESULTAT DES ARPENTAGES DE KAETZ ET RICH.

Barrage et son site.	Hauteur originale du lit au déversoir, (pi.)	Aire du bassin de drainage, (m^2)	Pente moyenne originale du lit.	Temps écoulé depuis la construction (an)	Pente moyenne des dépôts.	Longueur des dépôts en amont du barrage, (pi.)
Muddy Creek Diversion, Mexican Spring, Arizona.	20	5.6	0.0105	5	0.0025	2200
Deer Spring Diversion, Mexican Spring, Arizona.	16	5.2	0.0071	4	0.0019	3000
Norcross Wash Diversion, Mexican Spring, Arizona.	17	4.0	0.0083	5	0.0027	
Many Farms Diversion, Chinle Wash, 14 mi. from Chinle, Arizona.	3		0.0021	1	0.0008	7500
Kayenta Diversion, 7 mi. NW Kayenta, Arizona.	22	5.5	0.0136	3	0.0036	1400
Frazier Diversion, 12 mi. NW of Chinle, Arizona.	14		0.0056	4	0.0014	4300
Wepo Wash Barrier, 5 mi. SW of Polacca, Arizona.	12		0.0060	2	0.0020	

TABLEAU NO:1 (suite) RESULTAT DES ARPENTAGES DE KAETZ ET RICH.

Barrage et son site.	Hauteur originale du lit au déversoir, (pi.)	Aire du bassin de drainage, (m^2)	Pente moyenne originale du lit.	Temps écoulé depuis la construction, (an)	Pente moyenne des dépôts.	Longueur des dépôts en amont du barrage, (pi.)
Polacca Wash Barrier, 5 mi. SW of Polacca, Arizona.			0.0029		0.0007	5800
Bell Rock Dam, 10 mi. abv. Laguna, New Mexico.	12		0.0064	3	0.0030	3700
Laguna Cr. Diversion, 2 mi. NW of Kayenta, Arizona.	8		0.0022	5	0.0008	8100
Oraibi Dam No: 1 Oraibi Wash, 30 mi. S of Oraibi, Arizona.	7		0.0026	2	0.0007	4000
Oraibi Diversion, Oraibi Wash, 14 mi. N of Oraibi.	3		0.0025	5	0.0014	2200
Oraibi Dam No: 2 Oraibi Wash at Oraibi, Arizona.	6		0.0029	1	0.0013	1100
Ramah Dam, above Ramah, New Mexico.	12	3	0.0135	34	0.0076	2270

TABLEAU NO: 1 (fin) RESULTATS DES ARPENTAGES DE KAETZ ET RICH.

Barrage et son site.	Hauteur originale du lit au déversoir, (pi.)	Aire du bassin de drainage, (m^2)	Pente moyenne originale du lit.	Temps écoulé depuis la construction, (an)	Pente moyenne des dépôts.	Longueur des dépôts en amont du barrage, (pi.)
Cottonwood Creek Barrier, Farmington, Utah.	23		0.0464	15	0.0206	950
Ford Creek Barrier, Centerville, Utah.	8		0.0646	7	0.0416	500
Willard Creek Barrier, Willard, Utah.	30		0.0558	15	0.0236	1025
Salt Creek Barrier, 7 mi. above Nephi, Utah.	12		0.0172	17	0.0071	1000
Manti Canyon Barrier, Manti, Utah.	30		0.276	48	0.0147	950
Salina Creek Barrier, 3 mi. W of Salina, Utah.	12		0.0126	6	0.0063	1050
Upper Cedar City Barrier, 4 mi. above Cedar City, Utah.	27	100	0.0297	3	0.0150	1650

<u>3.1.7</u> <u>Johnson et Minaker</u> (8) essaient de concilier la théorie de Harris et les observations de Kaetz et Rich. "La pente des alluvions est initialement moindre que celle de la rivière originale parce que les dépôts de sédiments composés des matériaux de charriage et de suspension, sont plus fins que ceux du fond de la rivière originale.

La seule façon d'obtenir une nouvelle position permanente du lit à une pente parallèle à celle du lit original est par la déposition de matériaux aussi grossiers que ceux antérieurement charrier sur le lit."

Les auteurs traitant du cas des seuils à débris habituellement construits sur des torrents de montagne à forte pente où la variation de vitesse dans la courbe de remous est très rapide, on peut concevoir une déposition simultanée des matériaux de charriage et de suspension. Mais ce cas ne s'applique pas aux rivières à plus petite pente car il y a alors une gradation très définie des matériaux déposés dans la courbe de remous. Habituellement la vague de sédiments exhaussant le lit est constituée des matériaux les plus grossiers que transporte la rivière.

<u>3.1.8</u> <u>Stevens</u> (9) dans un article principalement consacré à l'envasement du lac Mead et du réservoir Elephant Butte donne quelques considérations sur l'exhaussement du lit. "Le "Soil Conservation Service of U.S.A." rapporte que l'aggradation de la partie inférieure de la vallée (du Rio Grande) a commencé huit ans avant la construction du réservoir Elephant Butte, (soit à peu près en 1907). Aucune explication satisfaisante n'a été trouvé pour l'exhaussement de la vallée. L'auteur croit qu'elle a été causé en partie par la courbe de remous du réservoir mais principalement par le petit cycle de ruissellement dont l'Ouest a souffert depuis 1920."

En traitant du cas du Lac Mead (Bolder Dan, rivière Colorado) il écrit:"La rivière principale a une tendance à l'alluvionnement de son lit en amont du réservoir pour conserver sa pente originale comme elle

étaient avant le commencement des dépôts deltaiques...Si la rivière d'apport coule dans une vallée de plaine, toute cette dernière, et non seulement le thalweg, sera exhaussée jusqu'à un certain point, suivant l'hydrologie de la région et les caractères des sédiments transportés, un tel phénomène se produit actuellement en amont des réservoirs Elephant Butte et McMillant (rivière Pecos)"

3.1.9 Bondurant (9) discutant Stevens écrit:"On croit, plus vraisemblablement, cependant, que cette condition (aggradation du Rio Grande) résulte des diversions d'irrigation réduisant le débit et que cette condition continuera aussi longtemps que l'irrigation existera. "On peut remarquer ici qu'habituellement tout système de diversion est calculé de façon à entraîner en même temps que le débit liquide, sa charge correspondante de façon à ne pas causer de déposition ou d'affouillement.

3.1.10 Toujours en consultant les nombreuses discussions dans l'article de Stevens on trouve la déclaration suivante de Brown (9):"...l'exhaussement (du Rio Grande) a aisément pour cause l'augmentation du volume de sédiments grossiers apporté par le Rio Puerco et plusieurs petits "arroyos" qui n'existaient pas ou étaient seulement des rivières éphèmères avant 1880."

3.1.11 Happ (9) donne les chiffres suivants: "Un arpentage en date de 1941 montre que l'effet de la croissance du delta se fait sentir à peu près 15 milles en amont du réservoir Elephant Butte (...), de 1936 à 1941 l'alluvionnement moyen annuel dans ces 15 milles a été d'à peu près 12.5 millions de tonnes. Un arpentage non complet mais apparamment aussi représentatif indique que le taux de sédimentation de 1936-1941 dans la moitié aval de la section fut de 2 1/2 fois plus grand que celui de 1814 à 1936. Le taux de sédimentation fut probablement plus grand dans la moitié supé-

rieure, mais les donnés ne sont pas suffisantes pour une comparaison quantitative." (Construction de Elephant Butte Dam en 1916)

3.1.12 En 1947 avait lieu au "Bureau of Reclamation" des Etats-Unis, une conférence sur la sédimentation, tenue par les Agences fédérales intéressées.

Lors de cette réunion, J.W. Stanley (11) déclarait: "Il a été noté sur la rivière Colorado que n'importe quelle obstruction dans le chenal causera un exhaussement du lit de la rivière pour quelque distance en amont. Probablement que deux facteurs les plus importants, influençant la distance à laquelle la déposition se rendra en amont d'un barrage, sont la pente de la rivière et la distribution statistique de la grosseur des matériaux transportés en suspension. Un autre facteur à être considéré en relation avec les deux sus-mentionnés est la quantité de matériaux transportés dans la rivière par les tributaires."

Plus loin:"Dans les aires exhaussées, la tendance à la formation de méandres existe encore, quoique le résultat final est la formation de marais (Swamp land) plutôt qu'une rivière à méandres."

3.1.13 Happ (13) étudiant les causes de sédimentations dans la vallée du Rio Grande écrit:"La concentration de plus de la moitié des sédiments de 1939-1941 dans les 14 milles inférieurs dans la vallée est probablement due principalement à l'effet du réservoir Elephant Butte. La sédimentation et l'exhaussement du lit ont évidemment été rapides dans cette région depuis 1914, période d'influence du réservoir."

"Il peut être déduit, à partir des mêmes évidences, que le réservoir n'a pas eu d'influence importante sur la sédimentation; mais il est plus probable que l'influence du réservoir est obscurci par d'autres variables et par la période comparativement brève de son effet direct."

3.1.14 Inglis (14) introduit le concept de l'effet tampon causé par les parties à pentes plus rapides: "...et quand, après une très longue période, un nouvel équilibre s'établit à un niveau supérieur, l'exhaussement maximum peut en aucun cas excéder la hauteur du barrage et doit actuellement être moindre, dû au noyage des portions de rivière ayant un plus grand gradient." (p. 172)

3.1.15 La figure 5 reproduit les résultats d'analyses sédimentologiques conduites par Bondurant (15) au réservoir Conchas (New Mexico). La déposition sélective des sédiments, suivant leur grosseur, de l'amont à l'aval, y est très bien illustrée.

3.1.16 Lane (17) dans sa discussion de l'article de Stanley (16) écrit:"Les données citées par M. Stanley indiquent que la déposition causée par la construction du barrage Impérial (rivière Colorado) s'étend en amont presque quatre fois la longueur du réservoir, et que la limite de cette déposition a lieu à une élévation au-dessus du déversoir de plus de trois fois la hauteur du barrage. Une plus grande distance et une plus haute élévation d'alluvionnement auraient sans doute été atteint, n'eut été la construction du barrage Parker (155 milles en amont d'Impérial)".

3.1.17 Joglekar et Wadekar (19) portent, encore une fois, à l'attention des ingénieurs les effets de la construction de barrage sur une rivière. De nombreux exemples, tirés du système d'irrigation de l'Inde, sont donnés; autant de l'exhaussement du lit à l'amont que de l'affouillement à l'aval d'un barrage.

3.1.18 Blench (21) mêt les ingénieurs en garde contre:"la comparaison des lacs naturels (qui existent du fait que la charge en suspension

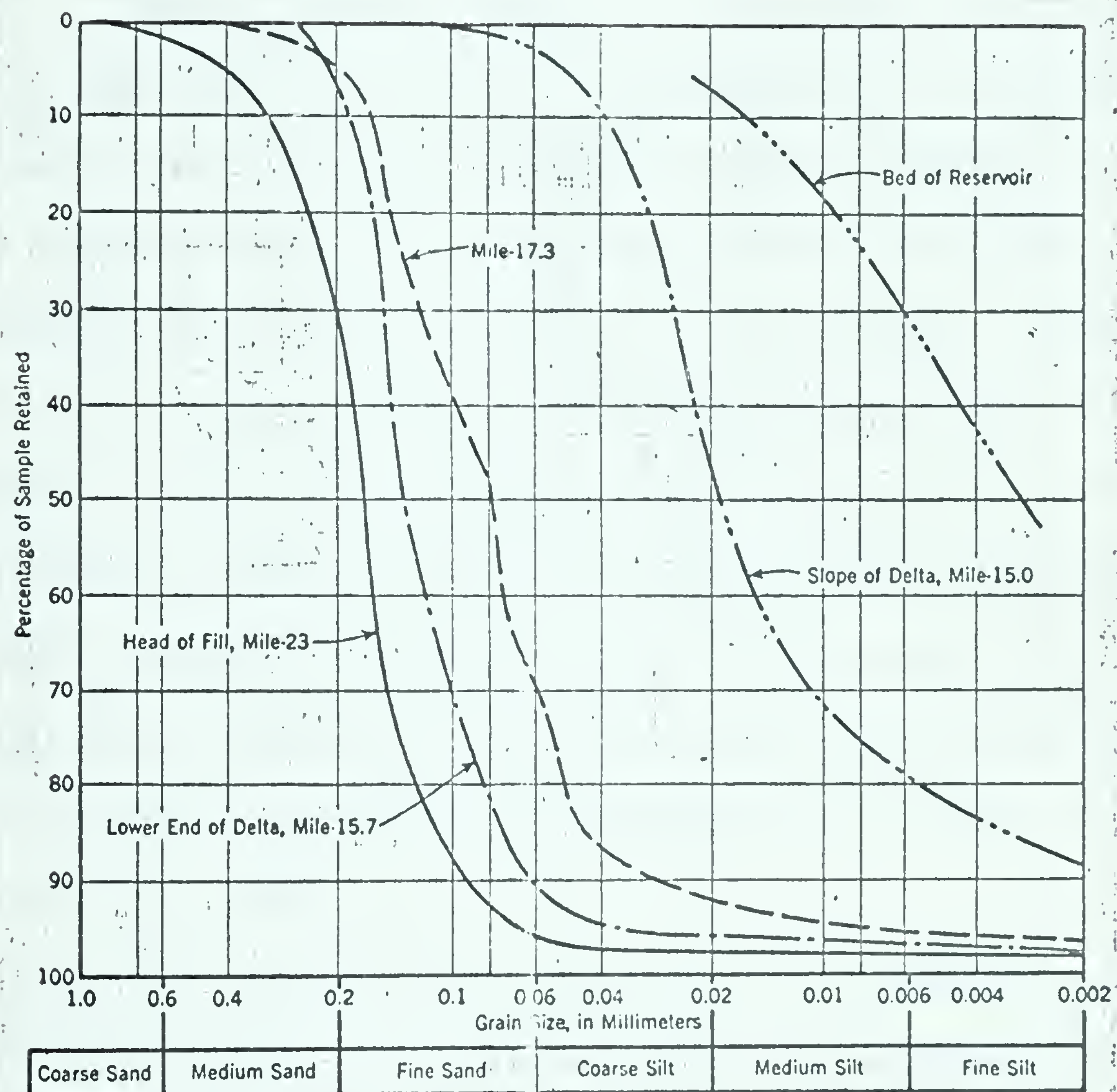


FIGURE NO: 5 ANALYSE SEDIMENTOLOGIQUE, RESERVOIR CONCHAS.

n'est pas importante) et des réservoirs artificiels. Si les premiers n'ont aucun effet sur la rivière d'apport il n'en est pas de même de ceux-ci qui, avec une rapidité proportionnelle à la charge, formeront un delta pour, par la suite, exhausser le lit de la rivière en amont."

3.1.19 Leopold, Wolman et Miller (24) décrivent le procédé d'alluvionnement en amont d'un réservoir:"...par la suite de la construction d'un barrage, l'eau et les sédiments s'accumulent dans le réservoir. Le niveau de base est élévé de sa position initiale, le lit de la rivière, au niveau duquel la surface de la retenue rencontre le lit original. L'élévation maximum de la cote d'eau est celle du sommet du déversoir. Comme illustré par la branche Red River du lac Texoma, l'effet d'aggradation de l'eau ne se fait pas sentir en amont du point d'intersection de la pente de la rivière et de la courbe de remous réunissant celle-ci au réservoir. Parce que cette intersection n'est pas abrupte, mais se fait d'une façon transitoire suivant une courbe de remous, le point d'intersection est actuellement l'amont de cette dernière." (p. 259)

Les auteurs semble vouloir attribuer à la végétation croissant sur les alluvions à l'amont d'un réservoir toute la responsabilité pour l'exhaussement du lit constaté dans certaines rivières se jettant dans un réservoir.

L'illustration de la Red River utilisée dans leur raisonnement n'est pas des mieux choisis. Le peu de temps écoulé depuis la construction (le lac Texoma a atteint son élévation normale, 617 pieds, au début de 1945 et le dernier profil en long publié par Leopold, Wolman et Miller date de 1948) ne nous semble pas propice à des conclusions sérieuses. Les auteurs eux-mêmes affirment: "La période d'observation directe de l'homme est trop courte pour lui permettre de juger de l'effet final de ses activités sur les procédés géomorphologiques, quoique ces effets sont évidents dans cer-

tains autre cas (sic)." (p. 259)

En plus de publier un intéressant résumé des arpentages de Kaetz et Rich (section: 3.1.5) les auteurs citent ceux de Myrick poursuivis en 1961 sur quelques unes des rivières étudiées par les premiers. (tableau no: 2)

Une description plus détaillée des alluvions (diamètre moyen et repartition statistique des diamètres) et une notion du débit solide et de sa division en charge de suspension et de charriage, nous permettraient une analyse efficace des résultats autant des arpentages de Kaetz et Rich que de ceux de Myrick.

Dans le cas de seuils comme ceux étudiés par Kaetz et Rich il peut arriver qu'une partie importante des sédiments de petits diamètres soit emportée par le courant de l'eau se déversant par-dessus le seuil durant une crue. Dans ce cas il y a un dérangement de la distribution des sédiments dans le réservoir et à l'amont et les résultats peuvent conduire à de fausses conclusions tant qu'aux barrages plus importants.

3.2 RESUME

Nous remarquons une tendance générale des auteurs étudiés, à accepter le fait qu'un réservoir cause l'exhaussement du lit dans la rivière d'apport. La théorie d'Harris (1) n'est pas rejettée en entier par des auteurs tel que: Stevens (4 et 9), Foy (7), Inglis (14), Lane (17), Blench (21); mais ces derniers tiennent compte de l'ajustement des variables internes d'une rivière: largeur, profondeur, pente, système de méandres, etc..

Seuls Leopold, Wolman et Miller (24) rejettent dans son entier la théorie de Harris. Ceci nous semble une négation, par trop drastique, des faits: sections: 3.1.2, 3.1.3, la rivière Colorado (section: 3.1.16) la rivière Washita, (chapitre 4) etc..

TABLEAU NO: 2 RESULTAT DES ARPENTAGES DE MYRICK.

Barrage et son site.	Temps écoulé depuis la construction, (an)	Pente moyenne des dépôts.	Longueur des dépôts en amont du barrage, (pi.)	Type de sédiments déposés.	Rapport de la pente des dépôts à la pente originale, (%) 1939	1961
Muddy Creek Diversion, Mexican Spring, Arizona.	27	0.0052	3400 (?)	Sable et argile (a).	22	50
Deer Spring Diversion, Mexican Spring, Arizona.	26	0.0019	3050	Sable et fin gravier.	27	27
Norcross Wash Diversion, Mexican Spring, Arizona.	27	0.0055	5400	Argile et limon.	33	66
Many Farms Diversion, Chinle Wash, 14 mi. from Chinle, Arizona.	23	0.0021	>15000	Sable fin devenant plus grossier vers l'amont.	38	100
Kayenta Diversion, 7 mi. NW Kayenta, Arizona,				Sable fin devenant plus grossier vers l'amont.	26	
Frazier Diversion, 12 mi. NW of Chinle, Arizona.				Sable devenant grossier vers l'amont.	29	
Wepo Wash Barrier, 5 mi. SW of Polacca, Arizona.				Sable: fin à grossier.	33	

(a) pente de 1961: 0.0052 jusqu'à 2400 pieds et 0.0065 de 2400 pieds à 3500 pieds en amont du barrage.

TABLEAU NO: 2 (suite) RESULTAT DES ARPENTAGES DE MYRICK.

Barrage et son site.	Temps écoulé depuis la construction, (an)	Pente moyenne des dépôts.	Longueur des dépôts en amont du barrage, (pi.)	Type de sédiments déposés.	Rapport de la pente des dépôts à la pente originale, (%)	
					1939	1961
Polacca Wash Barrier, 5 mi. SW of Polacca, Arizona.				Argile et limon sablonneux.	24	
Bell Rock Dam, 10 mi. abv. Laguna, New Mexico.				Sable fin devenant plus grossier vers l'amont.	47	
Laguna Creek Diversion, 2 mi. NW of Kayenta, Arizona.				Sable fin devenant plus grossier vers l'amont.	39	
Oraibi Dam No: 1 Oraibi Wash, 30 mi. S of Oraibi, Arizona.				Sable fin avec argile et limon.	27	
Oraibi Diversion, Oraibi Wash, 14 mi. N of Oraibi.	27	0.0014	2200	Sable avec argile et limon.	56	56
Oraibi Dam No: 2, Oraibi Wash at Oraibi, Arizona.				Sable fin avec argile et limon.	65	
Ramah Dam, abv. Ramah, New Mexico.	56	0.0074	2900	Sable avec argile et limon.	56	54

TABLEAU NO: 2 (fin) RESULTAT DES ARPENTAGES DE MYRICK.

Barrage et son site.	Temps écoulé depuis la construction, (an)	Pente moyenne des dépôts.	Longueur des dépôts en amont du barrage, (pi.)	Type de sédiments déposés.	Rapport de la pente des dépôts à la pente originale, (%) 1939	1961
Cottonwood Creek Barrier, Formington, Utah.				Petit gravier et sable.	44	
Ford Creek Barrier, Centerville, Utah.	29	0.040	400 (?)	Petit gravier grossisant vers l'amont.	64	62
Willard Creek Barrier, Willard, Utah.	37	0.052	?	Petit gravier grossisant vers l'amont.	42	
Salt Creek Barrier, 7 mi. abv. Nephi, Utah.	39	0.016	5000	Argile et limon, gravier en amont, (a).		93
Monti Canyon Barrier, Manti, Utah.	70	0.029		Petit gravier grossisant vers l'amont.	53	100
Salina Creek Barrier, 3 mi. W of Salina, Utah.	28	aucun changement.		Petit gravier grossisant vers l'amont.	50	
Upper Cedar City Barrier, 4 mi. abv. Cedar City, Utah.				Gravier et petits galets.	51	

(a) diamètre de 2 à 3 pouces.

4. UN CAS TYPE: LA RIVIERE WASHITA.

Le bassin de drainage de la rivière Washita couvre 7790 milles carrés de la partie sud ouest de l'état d'Oklahoma, E.U.. Le débit moyen de la rivière (sur une période de 21 ans) est de 829 pi.^{3}/sec.; le 18 mai 1957, un maximum de 35,800 pi.^{3}/sec. était mesuré, il n'a pas été dépassé depuis. Un total annuel de 23 millions de tonnes de sédiments est transporté par la rivière, ce qui peut être considéré comme une très grande charge.

Le 27 juillet 1942 débutait l'emmagasinement des eaux et des sédiments de la rivière Washita et de la Red River dans le réservoir causé par le barrage Denison. On créait ainsi le lac Texoma qui, le 15 mars 1945, atteignait son élévation normale de 617 pieds au-dessus du niveau moyen de la mer.

Depuis cette date de nombreux dérangements ont brisé l'équilibre relatif de la rivière Washita: (a) exhaussement du lit entraînant une plus grande fréquence des innondations et une déposition sur les fermes riveraines d'alluvions stériles, (b) un élargissement de la rivière et (c) "un redressement de son cours", (Bondurant, 20).

Ces dérangements majeurs causèrent de nombreux inconvénients aux fermes riveraines.

A la suite des dommages encourus, les fermiers poursuivirent le gouvernement des Etats-Unis, accusant celui-ci d'avoir causé, par la construction du barrage créant le réservoir, les inconvénients mentionnés plus haut. Cette poursuite judiciaire n'est pas encore terminée; les données citées proviennent d'exposés présentés devant la cours ainsi que de publications du "U.S. Geological Survey."

Voici quelques faits tels que cités , devant la cours, par l'avocat des fermiers:

(a) "A la section 22A (voir figure no: 6) les sédiments ont entièrement recouvert l'ancien canal existant avant la construction; la rivière a formé son cours plus à gauche, le lit de ce nouveau canal est exhaussé d'approximativement 13 pieds (janvier 1940 à octobre 1961) par rapport à l'ancien.

(b) A la section 22E la rivière a changé son cours et le lit est exhaussé de 7 pieds en septembre 1961 comparé à novembre 1943.

(c) A la section 22F la rivière s'est déplacée vers la droite et le lit en septembre 1961 est à peu près 17 pieds plus haut qu'il ne l'était en mars 1944.

(d) A la section 22G, le lit, dû à la sédimentation, s'est élevé de 9 pieds de mars 1944 à septembre 1961.

(e) Section 22I, entre mars 1944 et septembre 1961, le lit de la rivière a été exhaussé de l'élévation 646 pieds à l'élévation 654 pieds.

(f) Aux sections 22K, 22L et 22M les arpentages n'ont pas commencé avant juin 1956. De 1944 à cette date le lit de la rivière Washita a subi une aggradation de 4 à 6 pieds (sic) et de juin 1956 à octobre 1961 la section 22K n'a pas changé tandis que les sections 22L et 22M ont été exhaussées de 3 pieds additionnels."

La figure 6 reproduit les données d'arpentages du "U.S. Corps of Engineers" . Les mouilles que l'on peut remarquer (en 1961) à la section 22, entre

les sections 22D et 22E et à la section 22J sont causées par des coupures.

Nous décelons très bien sur cette figure la tendance d'aggradation du lit en amont du réservoir.

5. APPAREILS ET PROCEDE D'EXPERIMENTATION

5.1 INSTALLATION EXPERIMENTALE

Pour nous permettre d'étudier uniquement les variations de la pente sans avoir à tenir compte des altérations possibles de la largeur ou du système de méandres d'un modèle à trois dimensions, nous avons utilisé un canal à parois rigides.

Puisque les installations de pompage, de distribution d'eau et de sédiments étaient déjà en place, le canal rectangulaire fut aménagé à même un bac d'essais pour rivière à méandres, voir photo 1. Au moyen de côtés de contreplaqué peint, un canal rectiligne d'une longueur de 120 pieds fut tracé au milieu du bac. Des ancrages de béton furent distribués sur toute la longueur du canal pour assurer la stabilité des parois contre le danger de flottage. A l'aval, un diffuseur permettait un écoulement graduellement varié entre le canal et le réservoir. Pour plus de précision sur le dimensions voir la figure no: 7.

Au réservoir aval un robinet commandé par un flotteur ainsi qu'un écumeur permettaient le maintien d'un niveau constant de la cote d'eau.

La recirculation de l'eau était assurée par une pompe qui puisait l'eau à même le réservoir pour la déverser dans le distributeur amont.

Au début du canal un seuil en V permettait la mesure, au moyen d'une pointe limnimétrique, du débit d'eau contrôlé par une soupape entre la pompe et le réservoir amont, (photo no: 2).

Le débit solide était assuré par une plaque vibrante (à vibration réglable) entraînant les sédiments emmagasinés dans un réservoir surplom-

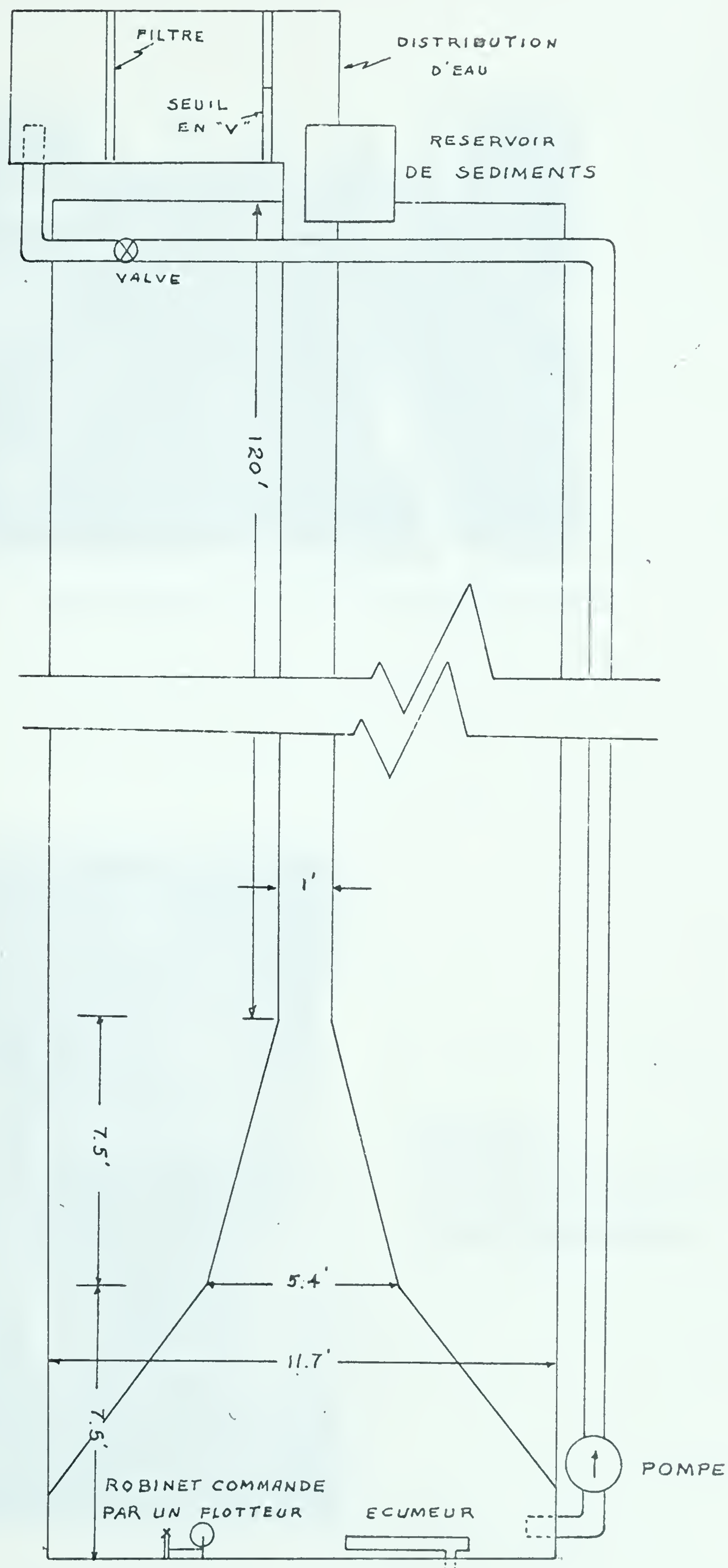


FIGURE NO 7 - SCHEMA DE L'APPAREIL

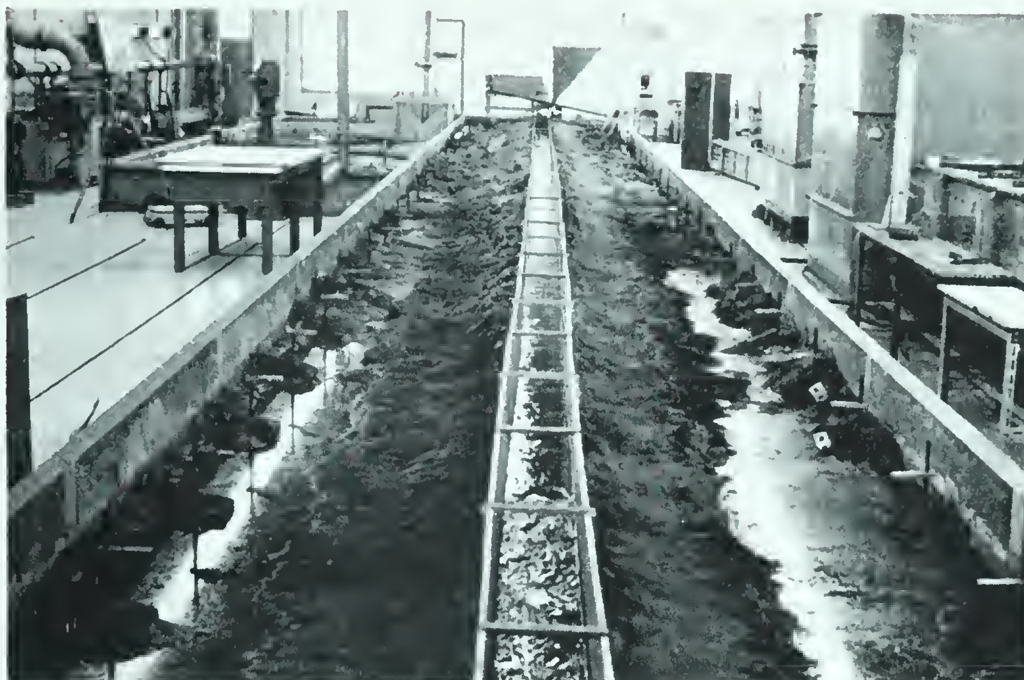


PHOTO NO: 1 VUE GENERALE DU CANAL D'EXPERIMENTATION.

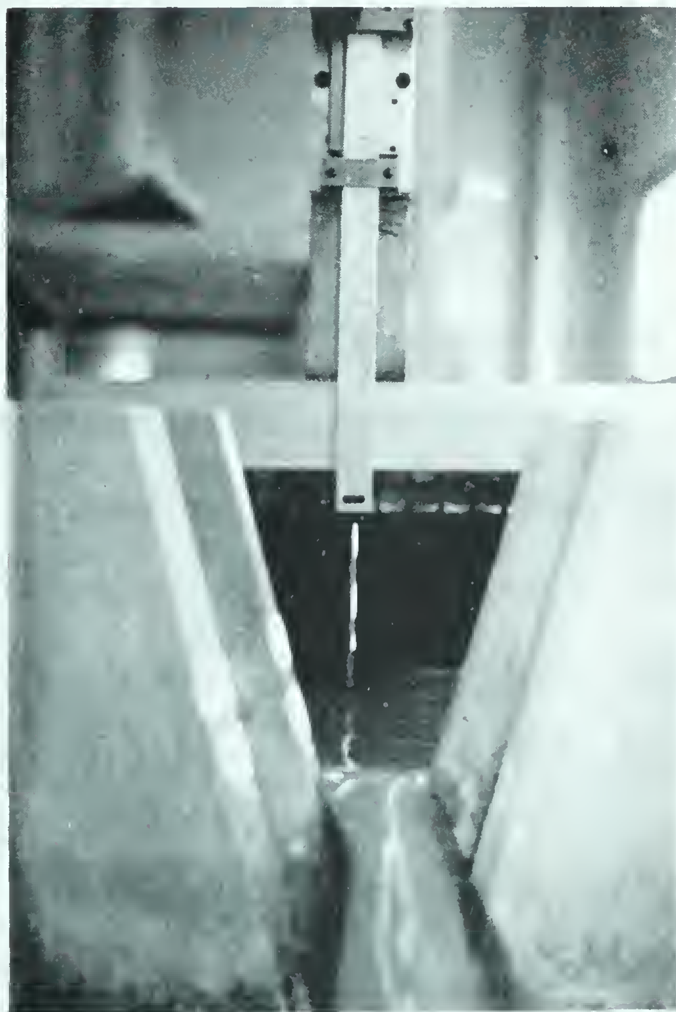


PHOTO NO: 2

DEVERSOIR TRIANGULAIRE ET

POINTE LIMNIMETRIQUE.

bant, (photo no: 3).

Cet appareil de distribution de sédiments n'offre pas, malheureusement, la régularité désirée pour une étude précise. Le très petit espace entre la plaque vibrante et le réservoir était souvent obstrué par des agglomérations de particules d'argile causées par l'humidité. Si cette obstruction se produisant la nuit, nous nous en apercevions que le lendemain, alors que le débit de sable avait été discontinué durant plusieurs heures.

Des alluvions d'origine éolienne en provenance de Winterburn, Alberta, servaient à couvrir le fond du canal et étaient aussi employées comme débit solide.

La figure no: 8 reproduit les résultats de l'analyse des sédiments. Un poids spécifique de 84.3 lbs/pi.^{3} fut mesuré pour les alluvions sèches et lorsque celles-ci étaient saturées d'eau, leur poids spécifique devenait de 121.1 lbs/pi.^{3}.

5.2 APPAREILS DE MESURE ET LEUR CALIBRAGE.

Les systèmes de distribution d'eau et de sable ayant été décrits antérieurement, nous ne donnerons ici que leur calibrage et mode de mesure.

Pour calibrer la pointe limnimétrique et le déversoir triangulaire de la distribution d'eau nous avons pesé, à plusieurs reprises et pour diverses ouvertures de la soupape, la quantité d'eau écoulée durant une période définie. Une courbe débit en fonction de la lecture de la pointe limnimétrique fut tracée.

Lors de notre premier essai de calibrage du système de la distribution de sable, le poids de sédiments écoulés par période pour diverses vitesses de vibration de la plaque a été pesé. Mais l'irrégularité du débit fut rapidement constatée et il fut décidé de mesurer plutôt la quantité de



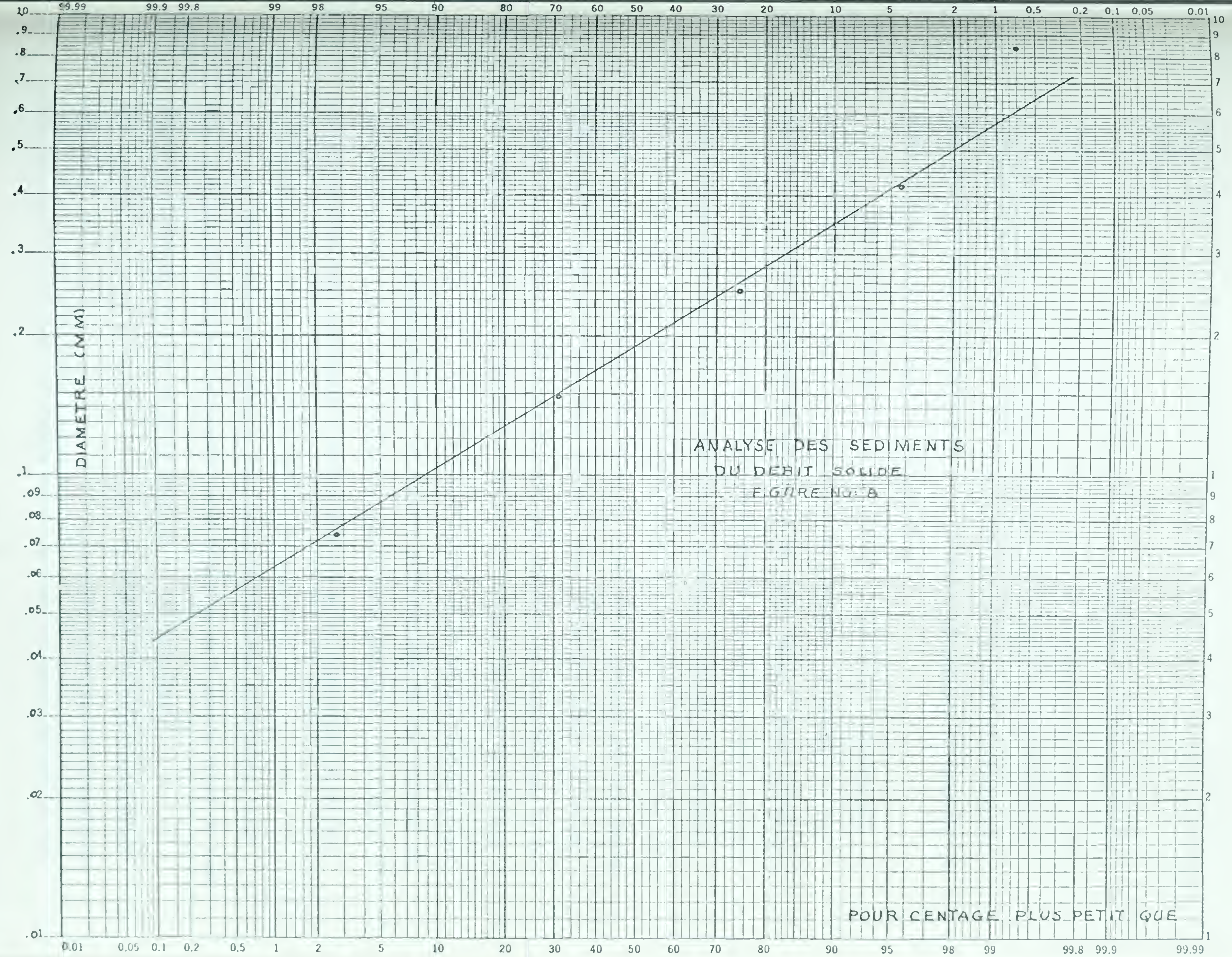
PHOTO NO: 3 APPAREIL DE DISTRIBUTION DE SEDIMENTS.



PHOTO NO: 4

POINTE LIMNIMETRIQUE

PORTATIVE.


ANALYSE DES SEDIMENTS
DU DEBIT SOLIDE
FIGURE No. 8
DIAMETRE (MM)
POUR CENTAGE PLUS PETIT QUE

sable sorti du réservoir durant un intervalle donné, pour ensuite calculer le débit moyen par heure.

A partir d'un réservoir vide et en mesurant la distance niveau de sable, bord du réservoir pour divers poids de sédiments déversés dans ce dernier, nous avons tracé une courbe poids du sable à l'intérieur du réservoir en fonction de la distance niveau de sable, bord du réservoir. Avec cette courbe, par différence, nous pouvions déterminer la quantité de sable écoulé entre deux mesures consécutives.

Le canal a été divisé en 24 stations, distancées de cinq (5) pieds; la 25ième se trouve à l'intérieur du divergent. A chacune de ces stations il fallait mesurer la cote d'eau et celle du lit. Pour ce faire, deux échelles limnimétriques furent attachées à des cadres légers pouvant être transportés facilement de station en station, l'une de ces échelles fut utilsée pour les lectures de la surface et l'autre pour celles du lit, (photo no: 4). La stabilité des côtés du canal étant assurée par les ancrages de béton nous pouvions, sans crainte, nous en servir comme points de référence. De façon à calibrer chacune des stations le réservoir et le canal furent emplis d'eau jusqu'à un niveau arbitraire. Lorsque la surface fut bien au repos, trois lectures consécutives de la pointe limnimétrique furent prises à chaque station. La moyenne arithmétique de ces lectures et une élévation arbitraire donnée au réservoir nous permirent de calculer une correction qui, appliquée à chaque station et au réservoir, éliminait les différences de niveau, (voir tableau A, appendice 1).

Pour mesurer la cote du lit, lors de la 2ième expérience, nous nous servions d'un disque horizontal d'un diamètre de 3 pouces soudé au bout d'une tige montée, au lieu de la pointe, sur l'échelle limnimétrique. La vis servant à élever ou baisser le disque et partant l'échelle limnimétrique avait été relâchée permettant ainsi une manoeuvre facile de l'appareil. Pour prendre les mesures, le disque était abaissé lentement jusqu'à ce que

la résistance du lit se fasse sentir. Les corrections servant à ramener au même datum, les lectures de la cote d'eau servaient aussi pour les mesures de la cote du lit.

Dans le réservoir le niveau d'eau était mesuré au moyen d'une pointe limnimétrique permanente fixée à la paroi.

5.3 PROCEDE D'EXPERIMENTATION.

L'exhaussement par alluvionnement du lit d'une rivière en régime se déversant dans un réservoir devait être étudié.

La pente de régime du canal pouvait être altérée soit en variant le débit d'eau ou la charge solide. L'expérience devait être reprise pour diverses combinaisons des variables.

Au moyen de lectures de la cote de la surface à chaque station, nous désirons suivre l'évolution du procédé d'alluvionnement. L'intervalle entre deux lectures serait imposé par la rapidité ou la lenteur du phénomène.

On verra par la suite que le facteur temps ne nous a pas permis de compléter ce programme initial.

5.3.1 Pente d'équilibre:

La pente d'équilibre ou de régime est celle qui, pour un débit d'eau et une charge donnée, ne changera pas par affouillement ou par alluvionnement d'une partie ou l'autre du cours d'eau. Une rivière peut être en régime sur l'un de ses tronçons ou sur un cours entier.

Avant tout nous devions établir dans le canal, une pente de régime sans la présence du réservoir. Arbitrairement un débit d'eau de 0.053 pi.^{3}/sec. correspondant à une lecture de 1.425 sur l'échelle limnimétrique et une charge moyenne de 1.51 lb. de sable par heure furent choisis.

S'il était très facile de maintenir constant le débit d'eau, il n'en fut pas de même pour le sable. Nous avons expliqué antérieurement (section 5.1) les difficultés rencontrées dans l'obtention d'un écoulement régulier des sédiments. Comme la chose était impossible avec l'appareil employé nous devions suivre de très près la quantité de sable déversé par 24 hrs. Lorsque le débit solide de la veille avait été soit trop petit ou trop grand, nous augmentions ou diminuions selon le cas, la vitesse de vibration. Nous donnons plus loin (section 6.2) le procédé employé pour éliminer l'erreur ainsi causée. La figure 9 donne la variation du débit solide en fonction du temps.

Comme le procédé n'était pas très rapide, les lectures de la cote de la surface furent espacées de 24 en 24 hrs. Chaque série de lectures était corrigée immédiatement et nous traçions sur papier quadrillé la pente correspondante. Il fut rapidement évident que la pente imposée manuellement au lit du canal était beaucoup trop raide car nous assistions à un affouillement rapide du lit des stations amonts alors que celles de l'aval n'indiqaient aucun changement. Il fallut 498 hrs. (3 semaines) avant que la pente de régime fut atteinte.

5.3.2 Première expérience:

Après avoir atteint l'équilibre, le réservoir aval fut rempli d'eau jusqu'à une cote arbitraire; ce niveau était maintenu constant, comme expliqué antérieurement (5.1), au moyen d'un robinet commandé par un flotteur et d'un écumeur.

L'alluvionnement se produisait principalement dans le divergent.

La durée de cette expérience fut de 451 hrs. (à peu près 3 semaines). Nous donnons plus loin les raisons de sa discontinuation.

Encore ici les lectures de la cote de la surface avaient lieu chaque jour (sauf quelques exceptions) et comme précédemment nous traçions par

VARIATION DU DEBIT SOLIDE EN FONCTION DU TEMPS

FIGURE NO: 9

DEBIT DE SEDIMENTS (LBS/HRS)

10
9
8
7
6
5
4
3
2
1
0

500 1000 1500 2000 2500 3000 3500 4000 4500

TEMPS (HEURES)

la suite le profil de la surface.

5.3.3 Deuxième expérience:

Le niveau du réservoir fut augmenté de 0.3 pied de façon à déplacer la courbe de remous vers l'amont jusqu'à ce quelle soit toute entière à l'intérieur du canal. Ainsi nous diminuions l'aire de sédimentation augmentant la vitesse d'exhaussement du lit.

Durant les deux premiers jours les lectures de la cote de la surface furent prises à de très courts intervalles: d'heure en heure, de trois heures en trois heures et ainsi de suite jusqu'à un schéma habituel de 24 heures en 24 heures. Nous espérions ainsi pouvoir visualiser le déplacement de la vague de sédiments vers l'amont. Vers la fin de cette très longue expérience (3498 heures) nous prenions les lectures seulement à tous les 4 ou 5 jours puisque les changements étaient très réguliers.

Lors de cette deuxième expérience, le débit solide fut diminué de 1.51 lb./hr. à 0.63 lb./hr. (moyennes à long terme). Au début, il y eut un léger ajustement de la pente (figure no: 18) mais nous ne croyons pas avoir changé sensiblement la véracité des résultats de l'expérience puisque l'ajustement à cette modification de la charge s'est fait rapidement et qu'ensuite l'expérience s'est déroulée comme prévu.

Dans le but de suivre de plus près le procédé d'alluvionnement du lit, des mesures de la cote du lit furent prisent à chaque station et aux mêmes intervalles que celles de la cote de la surface. Au paragraphe 5.2 nous décrivons l'appareil et le procédé de mesure suivi. Malgré le peu de précision des mesures nous avons obtenu ainsi une preuve de plus de l'exhaussement du lit. L'avance du delta dans le réservoir a aussi pu être bien suivie, figure no: 19.

5.4 PROFONDEUR D'ECOULEMENT.

Durant la deuxième expérience de nombreuses mesures de la profondeur d'écoulement furent prises dans la partie amont du canal. La moyenne arithmétique de ces lectures est: 0.110 pied.

De façon à vérifier la justesse de cette mesure nous allons calculer, au moyen de la formule de Manning, le "n" correspondant pour ensuite le comparer avec les valeurs communément acceptées.

Débit: $Q = 0.053$ pi.^{3}/sec.

largeur: $b = 1.0$ pi.

pente: $S = .0026$ (moyenne)

profondeur: $Y = 0.110$ pi.

Formule de Manning:

$$V = \frac{1.49}{n} R^{2/3} S^{1/2} \qquad 5.1$$

R = rayon hydraulique = $bY/b+2Y$

V = vitesse = Q/bY

L'équation 5.4.1 s'écrit:

$$\frac{0.053}{0.11} = \frac{1.49}{n} \left(\frac{0.11}{1 + 0.22} \right)^{2/3} (0.00260)^{1/2}$$

$n = 0.032$

Ven Te Chow (22) cite une valeur de 0.030 pour une rivière naturelle (sans végétation). Nous pouvons donc conclure que la valeur mesurée de Y_n est à l'intérieur des limites normales d'erreur.

5.5 PROFONDEUR CRITIQUE

Loi de l'écoulement critique:

$$\frac{V^2}{2g} = \frac{D}{2} \qquad 5.2$$

où: g = accélération de la gravité

D = profondeur hydraulique

$$V = 0.053\ Y_c$$

Y_c= profondeur critique

L'équation 5.5.1 devient:

$$(0.053)^2 \big/ 2gY_c^2 = Y_c/2$$

$$Y_c = 0.0443$$

5.6 LONGUEUR DE LA COURBE DE REMOUS.

Pour prouver que la courbe de remous ne couvrait qu'une faible portion du canal d'expérimentation il nous faut connaître sa longueur. Il nous est facile d'effectuer ce calcul dans le cas de la deuxième expérience (la courbe de remous est contenue entièrement dans le canal rectangulaire) en utilisant la méthode de l'intégration directe (Method of Direct Integration, cité par Ven Te Chow (22) p. 252).

Si nous prouvons ainsi que lors de la deuxième expérience la courbe de remous ne couvrait qu'une faible partie du canal, a fortiori lors de la première expérience, la partie du canal non affectée par la courbe de remous sera-t-elle plus longue (aval de la courbe de remous dans le divergent).

Nous connaissons la profondeur normale d'écoulement, la pente moyenne de la surface, l'élévation du plan d'eau dans la retenue et le point de rencontre de la courbe de remous et du réservoir. En supposant qu'au début de l'expérience le profil du lit était parallèle à celui de la surface, nous pouvons facilement calculer la profondeur d'eau à l'amont du réservoir. Nous

nous contenterons de donner ici le résultats de ce calcul trivial, soit une profondeur de 0.12 (maximum).

Les étapes suivies dans nos calculs sont celles recommandées par Ven Te Chow (22) p. 256.

(1) Calcul des profondeurs normal et critique:

Ces valeurs ont été mesurées ou calculées précédemment, sections 5.4 et 5.5.

$$Y_n = 0.110 \text{ pi.}$$

$$Y_c = 0.0443 \text{ pi.}$$

(2) Exposants hydrauliques N et M.

Courbe des valeurs de N, Ven Te Chow (22), figure 6-2, p. 132; pour $Y/b = 0.11/1 = 0.11$ et un canal rectangulaire ($z = 0$): $N = 3.2$.

Courbe des valeurs de M, Ven Te Chow (22), figure 4-2 p. 67; pour $Y/b = 0.11$ et un canal rectangulaire: $M = 3.0$

(3) Calcul de J:

$$J = N/(N - M + 1) \qquad 5.3$$

$$J = 3.2/(3.2 - 3.0 + 1)$$

$$J = 2.66$$

(4) Calcul de u et v dans le canal (indice 1) et dans le réservoir (indice 2).

$$u = Y/Y_n \qquad 5.4$$

$$v = u^{N/J} \qquad 5.5$$

$$u_1 = 0.11/0.11 = 1$$

$$v_1 = 1$$

$$u_2 = 0.12/0.11 = 1.09$$

$$v_2 = 1.09^{3.2/2.66} = 1.109$$

(5) Au moyen des tables de la fonction de l'écoulement varié, appendice D, Ven Te Chow (22), (pp. 641 à 655) nous trouvons les valeurs de $F(u,N)$ et $F(v,J)$

$$F(u_1,N) = \infty$$

$$F(v_1,J) = \infty$$

$$F(u_2,N) = 0.631$$

$$F(v_2,J) = 0.864$$

(6) Calcul de la longueur de la courbe de remous au moyen de l'équation:

$$L = A\left\{(u_2 - u_1) - \left[F(u_2,N) - F(u_1,N)\right] + B\left[F(v_2,J) - F(v_1,J)\right]\right\} \quad (5.6)$$

$$A = Y_n/S \quad (5.7)$$

$$B = (Y_c/Y_n)^M \, J/N \quad (5.8)$$

$$A = 0.11/0.00260 = 42.3$$

$$B = (0.0443/0.11)^3 \; 2.66/3.2 = 0.0886$$

L'équation 5.6.4 s'écrit:

$$L = 42.3 \left\{(1.09 - 1) - \left[(0.631 - \infty)\right] + 0.0866 \left[(0.864 - \infty)\right]\right\}$$

$$L = 3.81 \text{ pieds}$$

Une erreur de plus ou moins 10% dans la mesure de Y_n entraîne une variation de plus ou moins 0.25 pied dans la longueur de la courbe de remous.

Si nous considérons la station 17 comme point de rencontre de la courbe de remous et le réservoir et la longueur de la courbe de remous comme étant 4.0 pieds; la longueur du canal non affectée par la courbe de remous est de 81.0 pieds.

5.7 CHARGE.

Les sédiments déversés à la tête du canal étant les mêmes que ceux du lit, on peut considérer que tout le débit solide se déplaçait par charriage. Le concept de la charge tel qu'énoncé par Blench (21) sera utilisé; la charge est le rapport du poids des sédiments secs au poids de l'eau passant une section par unité de temps.

Première expérience: débit d'eau = 0.053 pi.^{3}/sec. = 11,920

lbs./hr et débit solide = 1.51 lb./hr.

$$C = \frac{1.51 \times 100,000}{11,920} = 12.68 \text{ parties}/100,000$$

Deuxième expérience: débit d'eau = 11,920 lbs./hrs. et débit solide = 0.63 lb./hr.

$$C = \frac{0.63 \times 100,000}{11,920} = 5.28 \text{ parties}/100,000$$

6. RESULTATS ET ANALYSE

6.1 RESULTATS EXPERIMENTAUX.

Au tableau A, appendice 1, les lectures corrigées (voir section 5.2) de la cote de la surface sont données. L'expérience peut être divisée en trois parties: (a) début à 498 heures, stabilisation de la pente, (b) 498 heures à 949 heures, première expérience: point amont du réservoir à l'intérieur du divergent et (c) 949 heures à 4497 heures, deuxième expérience: courbe de remous contenue en entier à l'intérieur du canal rectangulaire.

Le tableau B, appendice 1, donne les lectures corrigées de la cote du lit. Le peu de précision du procédé de mesure de la cote du lit peut être attribuée aux facteurs suivants: (a) la présence de dunes sur le lit, (b) le diamètre (3 pouces) imposé au disque horizontal par la nécessité d'éviter l'enfoncement rapide, (un premier essai avec un disque de diamètre plus petit (1 pouce) s'est avéré infructueux), (c) la vis lâche de l'échelle limnimétrique qui, imposée par la nécessité de sentir le lit puisqu'il était impossible de le voir, à cause de l'eau trouble, facilitait l'enfoncement du disque dans les alluvions et enfin (d) le temps de lecture.

Ces mesures de la cote du lit ont été effectuées de 1474 heures (525 heures après le début de la deuxième expérience) à la fin de l'expérimentation.

6.2 ANALYSE.

Comme mentionné antérieurement, après chaque mesure du profil de la surface ou du lit, les lectures étaient immédiatement corrigées (voir tableau A) et tracées. L'évolution des profils pouvait être ainsi suivie d'étape en étape. Il fut rapidement constaté que l'irrégularité du débit de sable nuisait de beaucoup à la consistance du procédé d'alluvionnement du lit. Il fut alors décidé de tracer les courbes élévation de la surface et élévation du lit en fonction du temps pour chaque station, figures nos: 10, 11, 12 et 13. Ces courbes montrent une tendance bien définie.

Pour corriger les variations causées par l'irrégularité du débit solide et par les erreurs de lecture, les courbes moyennes cote de la surface et cote du lit en fonction du temps furent tracées, figures nos: 14, 15, 16 et 17.

A partir de ces courbes et pour diverses époques de l'expérience, les profils en long de la surface et du lit furent tracés, figures nos: 18 et 19. Aux tableaux C et D, appendice 1, les pentes de ces profils sont données.

6.2.1 Pente de la surface.

Considérons en premier lieu la deuxième expérience pour ensuite revenir à la première.

Au début de la seconde expérience, la charge a été modifiée, entraînant un réajustement de la pente. Vers 1400 heures un équilibre fut atteint qui fut conservé jusqu'à la fin de l'expérience. La pente moyenne est de 0.002618 pi./pi. avec une déviation standard de 0.000032 pi./pi.

Dans cette partie de l'expérience (1400 heures à 4447 heures), on remarque un exhaussement du lit, égal en tout point du profil en long, de 0.11 pied.

Cet exhaussement du lit, simultané en tout point est bien marqué par le parallélisme des profils en long. L'irrégularité du débit de sédiments ne permet pas de tirer des conclusions adéquates des profils en long qui furent tracés de 24 heures en 24 heures.

A partir de la pente de régime de la deuxième expérience, il est possible de calculer celle de la première. La formule de la pente de Blench (21) est utilisée pour cette transformation.

$$S = \frac{F_{b_o}^{\ 11/12}}{K\ b^{1/6}\ Q^{1/12}} \quad f'''(C) \qquad 6.2$$

où: F_{b_o} = coefficient de fond pour petite charge de charriage = $1.9(D_m)^{1/2}$

K = coefficient dépendant de l'accélération de la gravité et de la viscosité

b = largeur

Q = débit d'eau

$f'''(C)$ = coefficient de charge exprimé par l'équation 6.2

D_m = diamètre médian

$$f'''(C) = \frac{(1 + 0.12C)^{\ 11/12}}{(1 + C/233)} \qquad 6.2$$

F_{b_o}, b, K et Q sont les mêmes dans le cas de la première expérience et de la seconde, ont peut donc écrire:

$$S_1/S_2 = f_1'''(C)/f_2'''(C) \qquad 6.3$$

$$f_1'''(C) = 2.21$$

$$f_2'''(C) = 1.53$$

$$S_1/S_2 = 2.21/1.53$$

$$S_1 = 1.445\ S_2$$

$$S_1 = 1.445 \times .002618 = .00378 \text{ pi./pi.}$$

La pente moyenne lors de la première expérience est de .00352 pi./pi.; soit une erreur de 7.4% sur la valeur calculée.

On a pu constater lors de la première expérience, avec un peu moins de précision, l'exhaussement parallèle des profils. Cette aggradation est bien marquée entre 800 heures et 900 heures.

Les modifications de la pente qui se sont continuées après 450 heures indiquent clairement que l'équilibre n'a pas été atteint que vers 800 heures; ce qui est confirmé par les calculs précédents.

6.2.2 Pente du lit.

La pente moyenne du lit est de .002646 pi./pi. avec une déviation standard de .000082 pi./pi.

Encore ici, le profil entier est exhaussé. En plus d'obtenir une confirmation des résultats des mesures de la cote de la surface il nous est loisible de suivre au moyen des lectures de l'élévation du lit le développement du delta simultanément à l'exhaussement.

6.2.3 Vérification de la charge.

La charge peut être vérifiée en mesurant le volume de sédiments déposés durant une période donnée. Sur la figure 19, le volume d'alluvions déposées entre 1500 heures et 4250 heures est de 16.178 pi.^{3}. Ce qui, en acceptant la valeur mesurée du poids spécifique des sédiments saturés d'eau (section 5.1), donne un débit solide de 0.71 lb./hrs. soit une erreur de 12.4% sur la valeur mesurée de 0.63 lb./hrs.

En utilisant la valeur communément acceptée de 22 pi.^{3} de delta par tonne de sédiments, le débit solide calculé devient alors de 0.535 lb/hrs., soit une erreur de 15% sur la valeur mesurée.

La grande marge d'erreur constatée dans les deux calculs peut être imputée en grande partie au fait que dans le premier cas les sédiments des couches inférieures deviennent sous saturés après un certain temps et dans le second cas les sédiments déposés sur le lit sont en général plus grossiers

que ceux d'un delta et par conséquent ont un poids spécifique plus grand.

6.2.4 Comparaison avec une rivière naturelle.

Les trois équations fondamentales de la théorie du régime de Blench (21) sont:

$$b = \left(\frac{F_b\ Q}{F_s}\right)^{1/2} \qquad 6.4$$

$$d = \left(\frac{F_s\ Q}{F_b^{\ 2}}\right)^{1/3}$$

$$S = \frac{F_b^{\ 5/6}\ F_s^{\ 1/12}}{K\ Q^{1/6}\ (1 + \frac{C}{233}} \qquad 6.6$$

où: b = largeur

F_b = coefficient de fond = V^2/d

F_s = coefficient de parois = V^3/b

d = profondeur

Q = débit liquide

K = coefficient dépendant de l'accélération de la gravité et de la viscosité

S = pente

C = charge

V = vitesse = Q/bd

Lors de la deuxième expérience:

$Q = 0.053$ pi.^{3}/sec.

$d = 0.11$ pi.

$b = 1.0$ pi.

$C = 5.28$ parties/100,000

$V = Q/bd = 0.053/0.11 = 0.482$ pi./sec.

$F_b = V^2/d = (0.482)^2/0.11 = 2.56$

$F_s = V^3/b = (0.482)^3/1.0 = 0.112$

L'exhaussement mesuré à la station 2 durant la période 1400 heures à 4447 heures est de 0.11 pied.

Soit une rivière naturelle ayant les caractéristiques suivantes:

$Q = 20{,}000$ pi.^{3}/sec.

$F_b = 1.0$

$F_s = 0.25$

$C = 1.0$

A partir des équations 6.4 et 6.5 on établit les relations (échelles) suivantes entre le modèle (m) et le prototype (p), Blench (21) chapitre 8.

Echelle des longueurs:

$$b_m/b_p = \left[F_{b_m}/F_{b_p} \times F_{s_p}/F_{s_m} \times Q_m/Q_p \right]^{1/2}$$

$$= (2.56/1 \times 0.25/0.112 \times 0.053/20{,}000)^{1/2}$$

$$= 1/256$$

Echelle des profondeurs:

$$d_m/d_p = \left[F_{s_m}/F_{s_p} \times (F_{b_p}/F_{b_m})^2 \times Q_m/Q_p \right]^{1/3} \qquad 6.8$$

$$d_m/d_p = \left[0.112/.25 \times (1/2.56)^2 \times .053/20{,}000 \right]^{1/3}$$

$$= 1/177$$

Echelle des temps:

$$T_m/T_p = (b_m/b_p)^2 \times d_m/d_p \times Q_p/Q_m \times C_p/C_m \qquad 6.9$$

$$T_m/T_p = (1/256)^2 \times 1/177 \times 20{,}000/.053 \times 1/528$$

$$= 1/16.2$$

Dans la rivière naturelle considérée, avec les mêmes conditions que celles de l'expérience, on obtiendrait:

(a) un exhaussement de:

0.11 x 177 = 19.45 pieds

(b) à une distance de:

76 x 256 = 19,480 pieds = 3.7 milles en amont de la courbe de remous.

(c) après une période de:

3047 24 x 16.2 = 2,060 jours = 5.6 ans

après que le réservoir eut atteint son niveau normal.

7. CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS.

7.1 CONCLUSIONS.

(a) Dans la revue de la littérature l'application aux rivières naturelles de la théorie de Harris a été confirmée par de nombreux exemples. Comme mentionnés antérieurement il faut tenir compte des possibilités physiques qui entrent en conflit avec l'appication rigoureuse de cette théorie.

(b) Au cours de l'expérience nous avons constaté un exhaussement du lit en amont de la courbe de remous.

(c) Cette aggradation caractérisée par un exhaussement parallèle du lit ne permet pas de visualiser la vague de sédiments logiquement anticipée. Nous croyons que des lectures plus fréquentes et un débit de sédiments plus réguliers auraient permis d'observer les mouvements de cette vague.

7.2 RECOMMANDATIONS.

L'auteur recommande pour des études subséquentes:

(a) La construction d'un distributeur de sédiments permettant un débit très régulier des alluvions.

(b) La construction d'un canal avec côtés transparents pour l'observation directe du lit.

(c) L'étude du mode de propagation de la vague de sédiments causant l'aggradation; il serait très intéressant de connaître: l'épaisseur des couches, la vitesse de propagation de la vague de sédiments et les paramètres

influançant ces phénomènes. L'emploie de sédiments colorés est à recommander pour cette étude.

(d) L'étude de l'influence de la grosseur des sédiments sur la vitesse d'exhaussement du lit.

(e) L'utilisation d'un modèle à trois dimensions d'une rivière à méandres se jettant dans un réservoir pour l'étude de l'influence de l'ajustement possible des variables internes de la rivière sur l'application rigoureuse de la théorie de Harris.

BIBLIOGRAPIE

1. Harris E.G., Effects of Dams and Like Obstruction in Silt-Bearing Streams, Enginnering News, vol. 46 pp. 110-111, 1901.

2. Koechlin René, Mécanisme de l'eau et principes généraux pour l'établissement d'usines hydro-électriques, tome 1, Librairie technique, Ch. Bélanger, 1924.

3. Sonderegger A.L., Modifying the Physiographical Balance by Conservation Methods, Trans. Amer. Soc. Civil Engrs, vol 100, pp. 284-346, 1935.

4. Stevens J.C., The Silt Problem, Trans. Amer. Soc. Civil Engrs, vol 101, pp. 207-250, 1936.

5. Blaney H.F., Discussion on The Silt Problem, Trans. Amer. Soc. Civil Engrs, vol 101, pp. 265-268, 1936.

6. Kaetz A.G. et Rich L.R., Report of Surveys Made to Determine Grade of Deposition Above Silt and Gravel Barriers, unpublished memórendum, U.S. Soil Conservation Service, Albuquerque, N.M., 1939.

7. Foy T.A.W., Regime Level Changes on the Indus System, Part I, Punjab Irrigation Branch, Paper no. 16, Class B, Lahore, 1944.

8. Johnson J.W. et Minaker W.L., Movement and Deposition of Sediment in the Vicinity of Débris-Barriers, Trans. Amer. Geophysical Union, pp. 901-906, 1944.

9. Stevens J.C., Future of Lake Mead and Elephant Butte Reservoir, Trans. Amer. Soc. Civil Engrs, Vol 111, 1946, pp. 1231-1254. Discussions par Bondurant (p. 1255) Brown (p. 1262) Happ (p. 1297).

10. Lane E.W., Sediment Engineering as a Quantative Science, Proceedings Inter-Agency Sedimentation Conference, Bureau of Reclamation, May 1947.

11. Stanley J.W., Effect of Dams on Channel Regimen. Proceedings Inter-Agency Sedimentation Conference, Bureau of Reclamation, May 1947.

12. Mackin J.H., Concept of the Graded River, Geological Society of America, Bull. 59, pp. 463-512, May 1948.

13. Happ S.C., Sedimentation in Middle Rio Grande Valley, New-Mexico, Geological Soc. of Amer., Bull. vol 57, no: 12, pt. 1, pp. 1191-1216, Dec. 1948.

14. Inglis Sir Claude Cavendish, The Behaviour and Control of Rivers and Canals (with the aid of models), Publ. Cent. Bd. Irrig. India, no: 13, Simla 1949.

15. Bondurant D.C., Sedimentation Studies at Conchas Reservoir in New-Mexico, Amer. Soc. Civil Engrs, Proc. vol 75, August 1950.

16. Stanley J.W., Retrogression on the Lower Colorado River After 1935, Trans. Amer. Soc. Civil Engrs, vol 116, 1951.

17. Lane E.W., Discussion on Retrogression on the Lower Colorado River after 1935, Trans. Amer. Soc. Civil Engrs, vol 116, 1951.

18. Malhotra S.L., Effects of Barrages and Weirs on the Regime of Rivers, Ass. Int. des Recherches Hydrauliques, 4ième réunion, Bombay, India 1951.

19. Joglekar D.V. et Wadekar G.T., The Effect of Weirs and Dams on the Regime of Rivers, Ass. Int. des Recherches Hydrauliques, 4ième réunion, Bombay, India, 1951.

20. Bondurant D.C., Report on Reservoir Delta Reconnaissance, The Missouri River Division Corps of Engineers, U.S. Army, Sediment Series, no: 6.

21. Blench T., Regime Behaviour of Canal and Rivers, Butterworth Scientific Publications, 1957.

22. Chow V.T., Open Channel Hydraulics, McGraw-Hill, 1959.

23. Jopling A.V., Hydraulic Studies on the Origin of Bedding, Sedimentology, vol 2, 1963.

24. Leopold L.B., Wolman M.G. et Miller J.P., Fluvial Processes in Geomorphology, Freeman & Co. 1964.

APPENDICE 1: TABLEAUX A, B, C et D.

Note: les tableaux A et B contiennent les lectures corrigées des cotes de la surface et du lit; la correction pour chacune des stations est donnée plus bas. L'unité de mesure est le pied.

station	correction	station	correction
1	+ 0.0677	14	+ 0.0790
2	+ 0.0720	15	+ 0.0597
3	+ 0.0843	16	+ 0.0367
4	+ 0.0723	17	+ 0.0437
5	+ 0.0690	18	+ 0.0460
6	+ 0.0660	19	+ 0.0423
7	+ 0.0737	20	+ 0.0373
8	+ 0.0730	21	+ 0.0393
9	+ 0.0870	22	+ 0.0467
10	+ 0.0863	23	+ 0.0503
11	+ 0.0750	24	+ 0.0543
12	+ 0.0720	25	+ 0.1723
13	+ 0.0877	réservoir	+ 0.9132 (avant 400 hrs)
			- 0.8642 (400 hrs à la fin)

TABLEAU A: LECTURES CORRIGEES DE LA COTE DE LA SURFACE.

Station	23 hrs	47 hrs	67 hrs	91 hrs	115 hrs
1	1.2417	1.2037	1.1862	1.1572	1.1547
2	1.2120	1.1820	1.1630	1.1410	1.1305
3	1.1898	1.1643	1.1433	1.1213	1.1143
4	1.1618	1.1363	1.1123	1.0973	1.0923
5	1.1443	1.1113	1.0930	1.0750	1.0645
6	1.1183	1.0940	1.0695	1.0590	1.0440
7	1.0937	1.0707	1.0522	1.0337	1.0252
8	1.0740	1.0480	1.0300	1.0150	1.0100
9	1.0460	1.0273	1.0045	0.9940	0.9820
10	1.0263	0.9973	0.9843	0.9678	0.9583
11	1.0010	0.9800	0.9645	0.9530	0.9460
12	0.9655	0.9050	0.9365	0.9205	0.9205
13	0.9377	0.9177	0.9087	0.8892	0.8922
14	0.9090	0.8840	0.8745	0.8695	0.8650
15	0.8852	0.8592	0.8512	0.8332	0.8382
16	0.8567	0.8277	0.8202	0.8107	0.8072
17	0.8267	0.7987	0.7852	0.7837	0.7817
18	0.7900	0.7715	0.7650	0.7600	0.7560
19	0.7623	0.7413	0.7353	0.7348	0.7313
20	0.7243	0.7163	0.7078	0.6993	0.7923
21	0.6968	0.6833	0.6778	0.6778	0.6793
22	0.6624	0.6597	0.6592	0.6572	0.6567
23	0.6398	0.6338	0.6233	0.6298	0.6333
24	0.6053	0.5998	0.6053	0.6063	0.6113
25		0.5753	0.5793	0.5813	0.5823
réservoir	0.4913	0.4923	0.4898	0.4908	0.4888

TABLEAU A (suite): LECTURES CORRIGEES DE LA COTE DE LA SURFACE.

Station	163 hrs	187 hrs	211 hrs	235 hrs	259 hrs
1	1.1347	1.1182	1.1092	1.0982	1.0772
2	1.1170	1.1025	1.0940	1.0815	1.0640
3	1.0993	1.0843	1.0758	1.0640	1.0503
4	1.0793	1.0598	1.0548	1.0503	1.0293
5	1.0560	1.0380	1.0295	1.0230	1.0090
6	1.0350	1.0200	1.0145	1.0110	0.9890
7	1.0137	1.0017	0.9977	0.9922	0.9797
8	0.9915	0.9840	0.9750	0.9705	0.9620
9	0.9660	0.9590	0.9565	0.9495	0.9385
10	0.9503	0.9433	0.9363	0.9323	0.9203
11	0.9275	0.9200	0.9175	0.9050	0.9000
12	0.9045	0.8965	0.8935	0.8935	0.8800
13	0.8797	0.8742	0.8697	0.8682	0.8552
14	0.8580	0.8500	0.8480	0.8430	0.8350
15	0.8292	0.8227	0.8212	0.8187	0.8147
16	0.8067	0.7952	0.7982	0.7917	0.7917
17	0.7757	0.7737	0.7727	0.7697	0.7632
18	0.7560	0.7510	0.7490	0.7475	0.7420
19	0.7303	0.7263	0.7263	0.7243	0.7153
20	0.7063	0.7033	0.6988	0.7003	0.6988
21	0.6773	0.6773	0.6753	0.6758	0.6733
22	0.6552	0.6507	0.6542	0.6547	0.6517
23	0.6303	0.6328	0.6273	0.6298	0.6328
24	0.6043	0.6123	0.6098	0.6133	0.6083
25	0.5833	0.5833	0.5878	0.5783	0.5873
réservoir	0.4898	0.4868	0.4868	0.4868	0.4868

TABLEAU A (suite): LECTURES CORRIGEES DE LA COTE DE LA SURFACE.

Station	331 hrs	378 hrs	426 hrs	450 hrs	498 hrs
1	1.0432	1.0357	1.0532	1.0682	1.0452
2	1.0305	1.0240	1.0305	1.0480	1.0245
3	1.0108	1.0093	1.0113	1.0273	1.0078
4	0.9963	0.9893	0.9918	1.0053	0.9913
5	0.9740	0.9735	0.9725	0.9860	0.9710
6	0.9580	0.9550	0.9525	0.9645	0.9530
7	0.9452	0.9377	0.9367	0.9422	0.9387
8	0.9305	0.9230	0.9140	0.9230	0.9175
9	0.9130	0.9010	0.8990	0.9015	0.8970
10	0.8928	0.8870	0.8818	0.8853	0.8848
11	0.8760	0.8690	0.8615	0.8630	0.8650
12	0.8605	0.8540	0.8480	0.8460	0.8480
13	0.8362	0.8277	0.8202	0.8232	0.8187
14	0.8140	0.8030	0.7910	0.7980	0.7835
15	0.7987	0.7882	0.7817	0.7852	0.7817
16	0.7787	0.7727	0.7677	0.7692	0.7647
17	0.7577	0.7482	0.7437	0.7487	0.7462
18	0.7335	0.7275	0.7285	0.7305	0.7260
19	0.7108	0.7113	0.7063	0.7098	0.7038
20	0.6913	0.6873	0.6893	0.6923	0.6873
21	0.6693	0.6723	0.6653	0.6728	0.6698
22	0.6507	0.6547	0.6502	0.6522	0.6497
23	0.6293	0.6308	0.6313	0.6338	0.6323
24	0.6053	0.6063	0.6043	0.6143	0.6003
25	0.5883	0.5873	0.5883	0.5923	0.5913
réservoir	0.4868	0.4878	0.4868	0.4868	0.4848

TABLEAU A (suite): LECTURES CORRIGEES DE LA COTE DE LA SURFACE.

Station	519 hrs	540 hrs	564 hrs	590 hrs	614 hrs
1	1.0897	1.1117	0.1107	0.1047	1.0787
2	1.0620	1.0880	1.0915	1.0890	1.0675
3	1.0408	1.0598	1.0683	1.0698	1.0503
4	1.0158	1.0383	1.0448	1.0438	1.0323
5	0.9890	1.0140	1.0210	1.0200	1.0160
6	0.9645	0.9880	0.9975	1.0020	0.9920
7	0.9452	0.9637	0.9707	0.9787	0.9737
8	0.9280	0.9410	0.9530	0.5965	0.9525
9	0.9065	0.9190	0.9340	0.9360	0.9365
10	0.8898	0.9003	0.9113	0.9198	0.9183
11	0.8695	0.8820	0.8955	0.9005	0.8975
12	0.8490	0.8670	0.8805	0.8860	0.8845
13	0.8332	0.8452	0.8577	0.8642	0.8637
14	0.8110	0.8225	0.8365	0.8440	0.8455
15	0.7937	0.8077	0.8207	0.8297	0.8277
16	0.7767	0.7912	0.8027	0.8067	0.8077
17	0.7567	0.7727	0.7842	0.7877	0.7882
18	0.7420	0.7550	0.7645	0.7725	0.7740
19	0.7238	0.7383	0.7463	0.7533	0.7588
20	0.7083	0.7248	0.7313	0.7358	0.7438
21	0.6913	0.7033	0.7173	0.7208	0.7238
22	0.6772	0.6902	0.6987	0.7037	0.7097
23	0.6628	0.6773	0.6828	0.6898	0.6953
24	0.6478	0.6578	0.6678	0.6763	0.6798
25	0.6508	0.6553	0.6568	0.6598	0.6653
réservoir	0.6558	0.6558	0.6558	0.6558	0.6558

TABLEAU A (suite): LECTURES CORRIGEES DE LA COTE DE LA SURFACE.

Station	638 hrs	662 hrs	686 hrs	733 hrs	780 hrs
1	1.0862	1.0977	1.1092	0.0932	1.0737
2	1.0710	1.0760	1.0905	1.0780	1.0625
3	1.0493	1.0568	1.0683	1.0603	1.0498
4	1.0293	1.0388	1.0483	1.0428	1.0333
5	1.0145	1.0190	1.0320	1.0255	1.0160
6	0.9950	0.9985	1.0075	1.0070	1.0010
7	0.9767	0.9787	0.9842	0.9847	0.9852
8	0.9560	0.9600	0.9655	0.9680	0.9660
9	0.9390	0.9395	0.9450	0.9515	0.9480
10	0.9203	0.9238	0.9263	0.9338	0.9323
11	0.9050	0.9060	0.9120	0.9150	0.9180
12	0.8890	0.8915	0.8970	0.9010	0.9065
13	0.8667	0.8712	0.8756	0.8772	0.8822
14	0.8480	o.8515	0.8575	0.8595	0.8635
15	0.8307	0.8332	0.8412	0.8467	0.8452
16	0.8157	0.8177	0.8232	0.8257	0.8267
17	0.7942	0.7997	0.8057	0.8037	0.8077
18	0.7805	0.7820	0.7865	0.7920	0.7960
19	0.7608	0.7683	0.7713	0.7748	0.7723
20	0.7483	0.7508	0.7533	0.7583	0.7603
21	0.7313	0.7348	0.7378	0.7403	0.7478
22	0.7152	0.7197	0.7212	0.7257	0.7282
23	0.7003	0.7043	0.7058	0.7083	0.7138
24	0.6818	0.6913	0.6898	0.6918	0.7013
25	0.6633	0.6693	0.6693	0.6723	0.6768
réservoir	0.6556	0.6548	0.6543	0.6553	0.6558

TABLEAU A (suite): LECTURES CORRIGEES DE LA COTE DE LA SURFACE.

Station	781 hrs	806 hrs	848 hrs	871 hrs	920 hrs
1	1.0822	1.0977	1.0932	1.1127	1.1077
2	1.0710	1.0760	1.0865	1.0925	1.0895
3	1.0538	1.0598	1.0688	1.0673	1.0723
4	1.0413	1.0443	1.0533	1.0573	1.0593
5	1.0240	1.0280	1.0325	1.0365	1.0380
6	1.0060	1.0100	1.0095	1.0210	1.0190
7	0.9877	0.9862	0.9942	1.0042	1.0007
8	0.9680	0.9695	0.9720	0.9770	0.9825
9	0.9525	0.9515	0.9585	0.9560	0.9655
10	0.9363	0.9353	0.9408	0.9418	0.9518
11	0.9160	0.9190	0.9240	0.9255	0.9330
12	0.9020	0.9060	0.9085	0.9130	0.9160
13	0.8807	0.8857	0.8857	0.8907	0.8957
14	0.8625	0.8665	0.8685	0.8735	0.8765
15	0.8457	0.8482	0.8557	0.8557	0.8617
16	0.8242	0.8317	0.8367	0.8427	0.8472
17	0.8067	0.8137	0.8187	0.8232	0.8257
18	0.7910	0.7980	0.7990	0.8070	0.8085
19	0.7713	0.7773	0.7823	0.7903	0.7923
20	0.7573	0.7623	0.7668	0.7753	0.7758
21	0.7433	0.7453	0.7483	0.7583	0.7608
22	0.7267	0.7322	0.7337	0.7387	0.7447
23	0.7238	0.7183	0.7213	0.7238	0.7298
24	0.6973	0.7053	0.7093	0.7083	0.7173
25	0.6763	0.6813	0.6888	0.6888	0.6918
réservoir	0.6563	0.6588	0.6573	0.6563	0.6583

TABLEAU A (suite): LECTURES CORRIGEES DE LA COTE DE LA SURFACE.

Station	949 hrs	1136 hrs	1137.15 hrs	1138.45 hrs	1139 hrs
1	1.0992	1.0857	1.0927	1.0937	1.0972
2	1.0810	1.0670	1.0705	1.0740	1.0780
3	1.0648	1.0538	1.0553	1.0583	1.0543
4	1.0453	1.0383	1.0403	1.0413	1.0423
5	1.0295	1.0190	1.0210	1.0235	1.0260
6	1.0125	1.0010	1.0025	1.0080	1.0110
7	0.9962	0.9837	0.9837	0.9932	0.9977
8	0.9760	0.9645	0.9695	0.9850	0.9885
9	0.9575	0.9535	0.9510	0.9770	0.9820
10	0.9413	0.9373	0.9398	0.9718	0.9763
11	0.9250	0.9205	0.9270	0.9710	0.9745
12	0.9130	0.9120	0.9165	0.9740	0.9765
13	0.8902	0.8897	0.9017	0.9667	0.9692
14	0.8720	0.8730	0.8885	0.9630	0.9670
15	0.8592	0.8617	0.8817	0.9627	0.9667
16	0.8382	0.8447	0.8762	0.9652	0.9667
17	0.8182	0.8272	0.8692	0.9617	0.9632
18	0.8020	0.8175	0.8685	0.9630	0.9640
19	0.7848	0.8148	0.8663	0.9633	0.9638
20	0.7728	0.8028	0.8673	0.9643	0.9653
21	0.7508	0.8108	0.8643	0.9633	0.9633
22	0.7362	0.8132	0.8637	0.9637	0.9647
23	0.7243	0.8148	0.8648	0.9663	0.9663
24	0.7073	0.8143	0.8633	0.9643	0.9643
25	0.6868	0.8183	0.8643	0.9663	0.9663
réservoir	0.6573	0.8228	0.8638	0.9658	0.9653

TABLEAU A (suite): LECTURES CORRIGEES DE LA COTE DE LA SURFACE.

Station	1140 hrs	1141 hrs	1143 hrs	1145 hrs	1156 hrs
1	1.1032	1.1007	1.1097	1.1217	1.1177
2	1.0705	1.0820	1.0885	1.0930	1.1000
3	1.0558	1.0588	1.0663	1.0713	1.0803
4	1.0428	1.0408	1.0428	1.0513	1.0633
5	1.0225	1.0230	1.0250	1.0295	1.0445
6	1.0090	1.0095	1.0115	1.0125	1.0270
7	0.9952	0.9937	0.9997	0.9992	1.0087
8	0.9865	0.9855	0.9905	0.9900	0.9915
9	0.9790	0.9795	0.9865	0.9860	0.9860
10	0.9748	0.9753	0.9813	0.9813	0.9803
11	0.9725	0.9730	0.9785	0.9800	0.9790
12	0.9745	0.9745	0.9830	0.9815	0.9815
13	0.9677	0.9677	0.9752	0.9742	0.9747
14	0.9640	0.9640	0.9720	0.9720	0.9700
15	0.9637	0.9642	0.9717	0.9712	0.9707
16	0.9657	0.9652	0.9727	0.9722	0.9727
17	0.9612	0.9617	0.9697	0.9687	0.9692
18	0.9625	0.9630	0.9710	0.9705	0.9690
19	0.9623	0.9623	0.9708	0.9708	0.9693
20	0.9628	0.9633	0.9713	0.9718	0.9713
21	0.9613	0.9623	0.9698	0.9693	0.9693
22	0.9622	0.9632	0.9717	0.9702	0.9702
23	0.9638	0.9643	0.9728	0.9618	0.9713
24	0.9613	0.9633	0.9703	0.9703	0.9693
25	0.9638	0.9648	0.9723	0.9713	0.9713
réservoir	0.9638	0.9633	0.9713	0.9708	0.9708

TABLEAU A (suite): LECTURES CORRIGEES DE LA COTE DE LA SURFACE.

Station	1165 hrs	1188 hrs	1212 hrs	1256 hrs	1304 hrs
1	1.1197	1.1127	1.1197	1.1227	1.1237
2	1.0910	1.1050	1.1030	1.1040	1.1000
3	1.0808	1.0858	1.0843	1.0873	1.0958
4	1.0623	1.0683	1.0673	1.0723	1.0783
5	1.0455	1.0520	1.0550	1.0590	1.0630
6	1.0270	1.0360	1.0415	1.0450	1.0485
7	1.0127	1.0177	1.0227	1.0262	1.0337
8	0.9945	1.0020	1.0090	1.0130	1.0210
9	0.9840	0.9890	0.9970	1.0030	1.0065
10	0.9793	0.9808	0.9873	0.9928	0.9968
11	0.9770	0.9800	0.9800	0.9815	0.9865
12	0.9780	0.9820	0.9820	0.9820	0.9825
13	0.9727	0.9752	0.9767	0.9742	0.9757
14	0.9690	0.9720	0.9730	0.9715	0.9725
15	0.9687	0.9717	0.9722	0.9712	0.9717
16	0.9697	0.9727	0.9727	0.9727	0.9737
17	0.9667	0.9692	0.9692	0.9697	0.9702
18	0.9680	0.9710	0.9710	0.9705	0.9720
19	0.9673	0.9703	0.9708	0.9703	0.9713
20	0.9688	0.9718	0.9728	0.9718	0.9723
21	0.9668	0.9703	0.9703	0.9698	0.9703
22	0.9672	0.9707	0.9717	0.9712	0.9707
23	0.9698	0.9728	0.9733	0.9723	0.9723
24	0.9673	0.9703	0.9713	0.9708	0.9713
25	0.9703	0.9713	0.9728	0.9713	0.9713
réservoir	0.9688	0.9718	0.9718	0.9708	0.9718

TABLEAU A (suite): LECTURES CORRIGEES DE LA COTE DE LA SURFACE.

Station	1352 hrs	1375 hrs	1423 hrs	1471 hrs	1548 hrs
1	1.1272	1.1287	1.1257	1.1247	1.1277
2	1.1145	1.1135	1.1135	1.1130	1.1125
3	1.0978	1.1033	1.1018	1.0983	1.1058
4	1.0873	1.0858	1.0858	1.0833	1.0903
5	1.0680	1.0700	1.0690	1.0715	1.0770
6	1.0545	1.0555	1.0585	1.0600	1.0630
7	1.0382	1.0422	1.0432	1.0442	1.0472
8	1.0255	1.0275	1.0320	1.0310	1.0335
9	1.0125	1.0120	1.0190	1.0190	1.0230
10	0.9993	1.0018	1.0018	1.0103	1.0143
11	0.9905	0.9905	0.9930	0.9985	1.0045
12	0.9845	0.9860	0.9965	0.9915	0.9990
13	0.9737	0.9747	0.9722	0.9767	0.9787
14	0.9710	0.9720	0.9700	0.9725	0.9720
15	0.9707	0.9707	0.9692	0.9717	0.9732
16	0.9717	0.9727	0.9707	0.9737	0.9742
17	0.9692	0.9702	0.9682	0.9702	0.9662
18	0.9700	0.9710	0.9670	0.9700	0.9705
19	0.9688	0.9703	0.9673	0.9703	0.9698
20	0.9703	0.9723	0.9688	0.9718	0.9708
21	0.9673	0.9693	0.9653	0.9683	0.9688
22	0.9687	0.9697	0.9667	0.9697	0.9692
23	0.9693	0.9713	0.9678	0.9703	0.9703
24	0.9673	0.9693	0.9663	0.9663	0.9673
25	0.9673	0.9693	0.9663	0.9668	0.9693
réservoir	0.9713	0.9688	0.9683	0.9708	0.9708

TABLEAU A (suite): LECTURES CORRIGEES DE LA COTE DE LA SURFACE.

Station	1591 hrs	1663 hrs	1711 hrs	1759 hrs	1795 hrs
1	1.1277	1.1267	1.1407	1.1437	1.1477
2	1.1155	1.1150	1.1265	1.1215	1.1320
3	1.1043	1.1058	1.1093	1.1108	1.1153
4	1.0908	1.0918	1.0973	1.0973	1.1023
5	1.0790	1.0795	1.0810	1.0805	1.0860
6	1.0645	1.0660	1.0685	1.0695	1.0765
7	1.0507	1.0567	1.0537	1.0572	1.0597
8	1.0380	1.0385	1.0450	1.0420	1.0455
9	1.0240	1.0280	1.0310	1.0310	1.0340
10	1.0108	1.0203	1.0213	1.0188	1.0203
11	1.0010	1.0100	1.0095	1.0105	1.0070
12	0.9950	0.9900	1.0040	1.0020	1.0040
13	0.9807	0.9862		0.9862	0.9852
14	0.9705	0.9735	0.9765	0.9775	0.9770
15	0.9692	0.9727	0.9737	0.9702	0.9717
16	0.9717	0.9732	0.9747	0.9737	0.9727
17	0.9667	0.9697	0.9692	0.9692	0.9687
18	0.9680	0.9685	0.9705	0.9700	0.9705
19	0.9673	0.9703	0.9713	0.9693	0.9698
20	0.9683	0.9698	0.9718	0.9708	0.9713
21	0.9683	0.9693	0.9693	0.9693	0.9693
22	0.9667	0.9707	0.9712	0.9702	0.9707
23	0.9668	0.9698	0.9708	0.9703	0.9718
24	0.9663	0.9698	0.9708	0.9688	0.9693
25	0.9693	0.9703	0.9703	0.9703	0.9703
réservoir	0.9698	0.9708	0.9708	0.9698	0.9708

TABLEAU A (suite): LECTURES CORRIGEES DE LA COTE DE LA SURFACE.

Station	1867 hrs	1915 hrs	1967 hrs	2035 hrs	2083 hrs
1	1.1527	1.1537	1.1597	1.1627	1.1577
2	1.1370	1.1395	1.1530	1.1510	1.1480
3	1.1248	1.1233	1.1343	1.1333	1.1333
4	1.1128	1.1108	1.1173	1.1218	1.1238
5	1.0970	1.0990	1.1015	1.1090	1.1120
6	1.0820	1.0855	1.0850	1.0940	1.0975
7	1.0672	1.0667	1.0692	1.0782	1.0837
8	1.0540	1.0530	1.0575	1.0620	1.0710
9	1.0390	1.0400	1.0420	1.0490	1.0540
10	1.0253	1.0268	1.0308	1.0353	1.0408
11	1.0140	1.0165	1.0185	1.0215	1.0310
12	1.0075	1.0070	1.0095	1.0155	1.0210
13	0.9922	0.9897	0.9897	0.9982	1.0042
14	0.9825	0.9790	0.9730	0.9840	0.9865
15	0.9767	0.9697	0.9632	0.9747	0.9782
16	0.9767	0.9667	0.9537	0.9687	0.9717
17	0.9737	0.9637	0.9512	0.9657	0.9667
18	0.9745	0.9645	0.9520	0.9670	0.9680
19	0.9743	0.9653	0.9513	0.9673	0.9673
20	0.9763	0.9663	0.9528	0.9683	0.9683
21	0.9743	0.9643	0.9508	0.9668	0.9673
22	0.9747	0.9657	0.9517	0.9677	0.9677
23	0.9758	0.9673	0.9528	0.9693	0.9698
24	0.9743	0.9643	0.9518	0.9673	0.9673
25	0.9773	0.9668	0.9523	0.9673	0.9673
réservoir	0.9748	0.9653	0.9528	0.9688	0.9688

TABLEAU A (suite): LECTURES CORRIGEES DE LA COTE DE LA SURFACE.

Station	2131 hrs	2203 hrs	2299 hrs	2419 hrs	2539 hrs
1	1.1727	1.1617	1.1527	1.1557	1.1827
2	1.1595	1.1520	1.1455	1.1445	1.1640
3	1.1433	1.1393	1.1343	1.1308	1.1493
4	1.1298	1.1253	1.1238	1.1198	1.1293
5	1.1160	1.1095	1.1080	1.1085	1.1155
6	1.0975	1.1000	1.0975	1.0995	1.1030
7	1.0807	1.0847	1.0837	1.0837	1.0872
8	1.0680	1.0720	1.0710	1.0730	1.0780
9	1.0550	1.0580	1.0590	1.0615	1.0660
10	1.0408	1.0463	1.0483	1.0513	1.0543
11	1.0315	1.0335	1.0365	1.0415	1.0425
12	1.0220	1.0255	1.0295	1.0310	1.0345
13	1.0027	1.0052	1.0117	1.0167	1.0197
14	0.9905	0.9960	0.9990	1.0045	1.0065
15	0.9712	0.9822	0.9872	0.9922	0.9937
16	0.9707	0.9752	0.9782	0.9852	0.9842
17	0.9637	0.9667	0.9697	0.9707	0.9747
18	0.9660	0.9695	0.9690	0.9685	0.9695
19	0.9653	0.9683	0.9693	0.9683	0.9683
20	0.9673	0.9703	0.9703	0.9698	0.9693
21	0.9653	0.9688	0.9693	0.9683	0.9683
22	0.9667	0.9697	0.9697	0.9682	0.9687
23	0.9673	0.9703	0.9708	0.9703	0.9698
24	0.9653	0.9693	0.9688	0.9683	0.9683
25	0.9673	0.9713	0.9693	0.9693	0.9683
réservoir	0.9678	0.9698	0.9708	0.9698	0.9698

TABLEAU A (suite): LECTURES CORRIGEES DE LA COTE DE LA SURFACE.

Station	2635 hrs	2709 hrs	2813 hrs	2888 hrs	2991 hrs
1	1.1807	1.1777	1.1887	1.1817	1.1977
2	1.1800	1.1700	1.1745	1.1815	1.1820
3	1.1673	1.1548	1.1598	1.1658	1.1643
4	1.1523	1.1458	1.1438	1.1523	1.1538
5	1.1355	1.1310	1.1310	1.1390	1.1375
6	1.1210	1.1210	1.1165	1.1265	1.1280
7	1.1037	1.1047	1.1037	1.1087	1.1127
8	1.0865	1.0910	1.0910	1.0960	1.0990
9	1.0725	1.0770	1.0785	1.0840	1.0860
10	1.0593	1.0658	1.0683	1.0718	1.0733
11	1.0500	1.0550	1.0575	1.0585	1.0595
12	1.0410	1.0430	1.0470	1.0495	1.0525
13	1.0222	1.0247	1.0312	1.0302	1.0377
14	1.0090	1.0125	1.0145	1.0155	1.0235
15	0.9962	1.0032	1.0067	1.0087	1.0122
16	0.9897	0.9922	0.9957	0.9982	1.0022
17	0.9772	0.9787	0.9837	0.9887	0.9887
18	0.9700	0.9740	0.9760	0.9815	0.9810
19	0.9678	0.9683	0.9673	0.9703	0.9723
20	0.9688	0.9703	0.9703	0.9718	0.9698
21	0.9683	0.9678	0.9688	0.9703	0.9683
22	0.9682	0.9692	0.9692	0.9717	0.9692
23	0.9703	0.9703	0.9713	0.9713	0.9708
24	0.9683	0.9693	0.9693	0.9703	0.9683
25	0.9703	0.9703	0.9713	0.9703	0.9703
réservoir	0.9698	0.9698	0.9708	0.9718	0.9698

TABLEAU A (suite): LECTURES CORRIGEES DE LA COTE DE LA SURFACE.

Station	3063 hrs	3211 hrs	3493 hrs	3665 hrs	3833 hrs
1	1.2067	1.2227	1.2317	1.2167	1.2177
2	1.1900	1.2080	1.2225	1.2060	1.2075
3	1.1773	1.1873	1.2078	1.1973	1.1933
4	1.1643	1.1768	1.1903	1.1848	1.1848
5	1.1440	1.1630	1.1800	1.1715	1.1715
6	1.1345	1.1460	1.1660	1.1560	1.1600
7	1.1197	1.1272	1.1497	1.1432	1.1467
8	1.1030	1.1155	1.1350	1.1300	1.1290
9	1.0880	1.1015	1.1220	1.1170	1.1170
10	1.0758	1.0863	1.1083	1.1013	1.1068
11	1.0630	1.0760	1.0940	1.0915	1.0925
12	1.0520	1.0630	1.0820	1.0830	1.0855
13	1.0377	1.0442	1.0647	1.0632	1.0677
14	1.0255	1.0295	1.0490	1.0480	1.0540
15	1.0107	1.0172	1.0362	1.0377	1.0407
16	1.0017	1.0062	1.0232	1.0282	1.0307
17	0.9907	0.9957	1.0092	1.0157	1.0197
18	0.9815	0.9875	0.9995	1.0060	1.0100
19	0.9723	0.9783	0.9873	0.9933	1.0018
20	0.9683	0.9733	0.9793	0.9833	0.9933
21	0.9668	0.9693	0.9698	0.9738	0.9838
22	0.9677	0.9702	0.9692	0.9682	0.9817
23	0.9693	0.9718	0.9713	0.9713	0.9743
24	0.9678	0.9703	0.9688	0.9683	0.9718
25		0.9713	0.9713	0.9693	0.9733
réservoir	0.9688	0.9708	0.9708	0.9708	0.9738

TABLEAU A (fin): LECTURES CORRIGEES DE LA COTE DE LA SURFACE.

Station	4001 hrs	4289 hrs	4447 hrs
1	1.2167	1.2247	1.2587
2	1.1980	1.2075	1.2445
3	1.1873	1.1938	1.2298
4	1.1748	1.1808	1.2138
5	1.1640	1.1670	1.1990
6	1.1530	1.1565	1.1860
7	1.1387	1.1422	1.1707
8	1.1285	1.1300	1.1520
9	1.1160	1.1170	1.1355
10	1.1063	1.1073	1.1218
11	1.0945	1.0970	1.1070
12	1.0865	1.0860	1.1000
13	1.0712	1.0682	1.0787
14	1.0590	1.0555	1.0660
15	1.0422	1.0452	1.0547
16	1.0342	1.0307	1.0432
17	1.0227	1.0177	1.0287
18	1.0135	1.0100	1.0190
19	0.9998	0.9968	1.0098
20	0.9923	0.9903	1.0023
21	0.9793	0.9813	0.9893
22	0.9707	0.9742	0.9812
23	0.9693	0.9703	0.9738
24	0.9663	0.9663	0.9668
25	0.9693	0.9683	0.9693
réservoir	0.9688	0.9688	0.9688

TABLEAU B: LECTURES CORRIGEES DE LA COTE DU LIT.

Station	1474 hrs	1967 hrs	2539 hrs	2709 hrs	2888 hrs
1	0.9547	0.9677	0.9827	0.9797	0.9977
2	0.9580	0.9720	0.9940	0.9920	1.0170
3	0.9353	0.9943	0.9693	0.9743	0.9643
4	0.8863	0.9423	0.9523	0.9743	0.9723
5	0.9030	0.9150	0.9490	0.9630	0.9640
6	0.8680	0.9110	0.9380	0.9670	0.9470
7	0.8697	0.8957	0.9377	0.9437	0.9437
8	0.8710	0.8770	0.9060	0.9170	0.8970
9	0.8580	0.8770	0.9010	0.9100	0.8870
10	0.8483	0.8693	0.8763	0.8983	0.8883
11	0.8220	0.8250	0.8880	0.8650	0.8700
12	0.8080	0.8050	0.8700	0.8750	0.8740
13	0.7987	0.8007	0.8417	0.8657	0.8737
14	0.7450	0.7940	0.8290	0.8540	0.8500
15	0.7047	0.7497	0.8247	0.8417	0.8237
16	0.6997	0.7567	0.8177	0.7977	0.8037
17	0.6637	0.6917	0.8137	0.8077	0.8017
18	0.6170	0.6130	0.7640	0.7820	0.7710
19	0.6163	0.6173	0.6533	0.6973	0.7873
20	0.6163	0.6093	0.6193	0.6273	0.6343
21	0.6063	0.6043	0.6093	0.6013	0.6103
22	0.5917	0.5837	0.5877	0.5867	0.5817
23	0.5643	0.5603	0.5613	0.5673	0.5613
24	0.5243	0.5163	0.5143	0.5183	0.5143
25		0.5623	0.5563	0.5603	0.5573

TABLEAU B (suite): LECTURES CORRIGEES DE LA COTE DU LIT.

Station	3063 hrs	3211 hrs	3493 hrs	3665 hrs	3833 hrs
1	1.0227	1.0657	1.0677	1.0177	1.0437
2	1.0460	1.0460	1.0530	1.0140	1.0290
3	0.9903	1.0203	1.0533	1.0143	1.0343
4	0.9773	0.9983	1.0393	1.0123	1.0153
5	0.9870	0.9730	1.0000	0.9970	1.0220
6	0.9690	0.9710	0.9620	1.0090	0.9810
7	0.9517	0.9487	1.0007	0.9767	0.9737
8	0.9250	0.9450	0.9600	0.9610	0.9600
9	0.9170	0.9120	0.9420	0.9520	0.9820
10	0.8823	0.9333	0.9343	0.9263	0.9343
11	0.9060	0.9130	0.9170	0.8950	0.9240
12	0.8960	0.8740	0.9200	0.9400	0.9270
13	0.8547	0.8747	0.8897	0.8817	0.8847
14	0.8610	0.8960	0.8620	0.8870	0.8740
15	0.8377	0.8377	0.8717	0.8717	0.8737
16	0.8367	0.8347	0.8477	0.8517	0.8837
17	0.8287	0.7947	0.8477	0.8347	0.8407
18	0.7940	0.8000	0.8410	0.8330	0.8290
19	0.7873	0.7663	0.8243	0.8233	0.8173
20	0.6763	0.7353	0.7823	0.8023	0.8043
21	0.6193	0.6333	0.7773	0.7693	0.8293
22	0.5847	0.5917	0.6107	0.6677	0.8117
23	0.5623	0.5763	0.5773	0.5853	0.5883
24	0.5153	0.5173	0.5213	0.5233	0.5253
25			0.5623	0.5603	0.5623

TABLEAU B (fin): LECTURES CORRIGEES DE LA COTE DU LIT.

Station	4001 hrs	4289 hrs	4447 hrs
1	1.0417	1.0457	1.0577
2	1.0240	1.0470	1.0920
3	1.0103	1.0503	1.0493
4	1.0283	1.0033	1.0363
5	0.9780	0.9660	1.0230
6	0.9750	0.9770	0.9910
7	0.9737	0.9637	0.9957
8	0.9650	0.9710	0.9730
9	0.9590	0.9700	0.9760
10	0.9293	0.9313	0.9463
11	0.9130	0.9050	0.9350
12	0.9250	0.8950	0.9230
13	0.8917	0.9177	0.9177
14	0.8670	0.8990	0.8770
15	0.8767	0.8677	0.8777
16	0.8517	0.8637	0.8687
17	0.8557	0.8393	0.8687
18	0.8070	1.8330	1.8410
19	0.8203	0.8133	0.8103
20	0.7873	0.8213	0.8033
21	0.8173	0.8033	0.7913
22	0.7877	0.8037	0.8107
23	0.6063	0.7933	0.7643
24	0.5253	0.5413	0.5543
25	0.5623	0.5643	

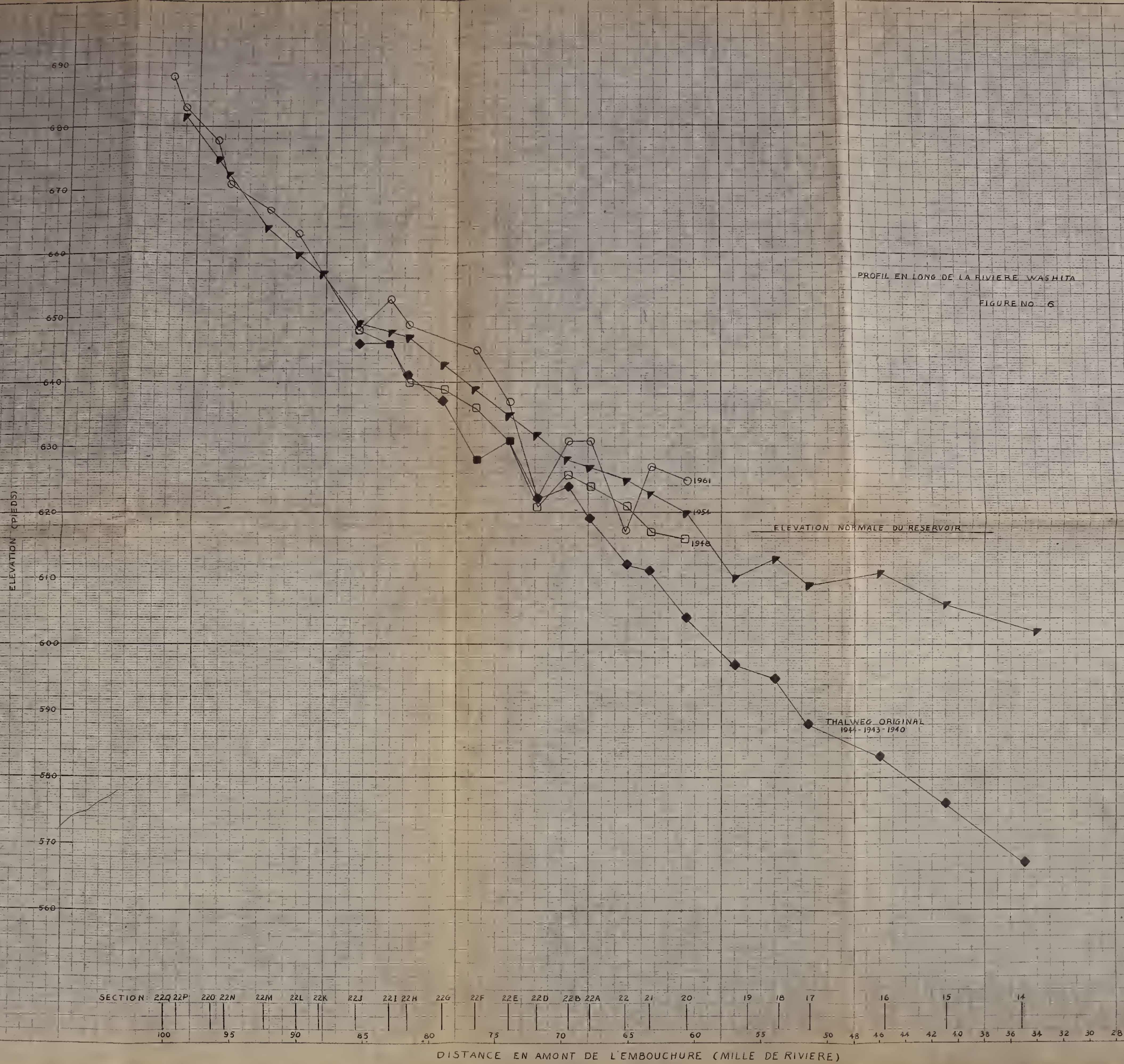
TABLEAU C: PENTE DU PROFIL DE LA SURFACE (pi./pi.)

450 hrs	.00380
600 hrs	.00370
800 hrs	.00342
900 hrs	.00344
1150 hrs	.00320
1250 hrs	.00300
1400 hrs	.00266
1500 hrs	.00264
1750 hrs	.00264
2000 hrs	.00260
2250 hrs	.00260
2500 hrs	.00266
2750 hrs	.00268
3000 hrs	.00260
3250 hrs	.00260
3500 hrs	.00256
3750 hrs	.00260
4000 hrs	.00260
4250 hrs	.00260

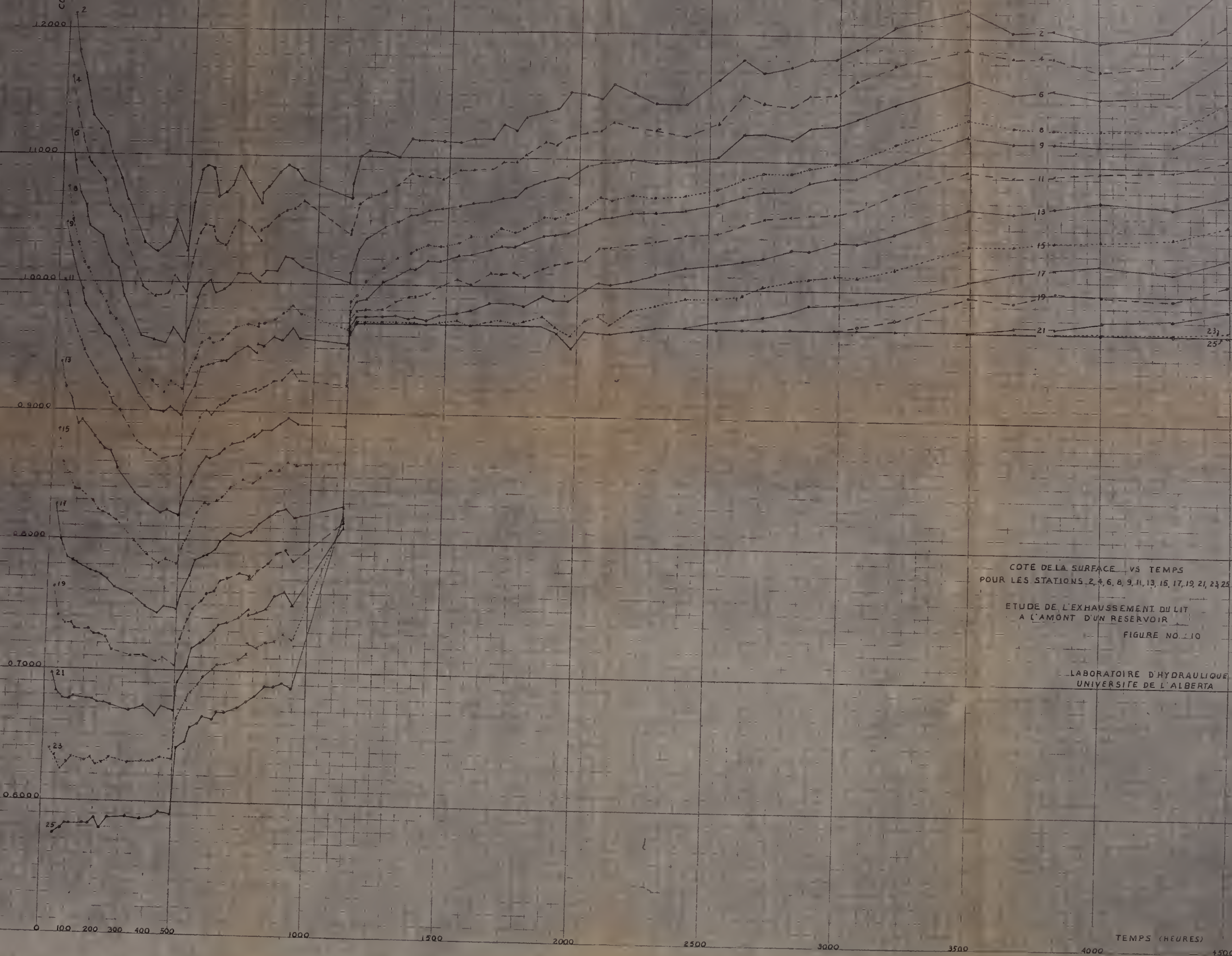
TABLEAU D: PENTE DU PROFIL DU LIT (pi./pi.)

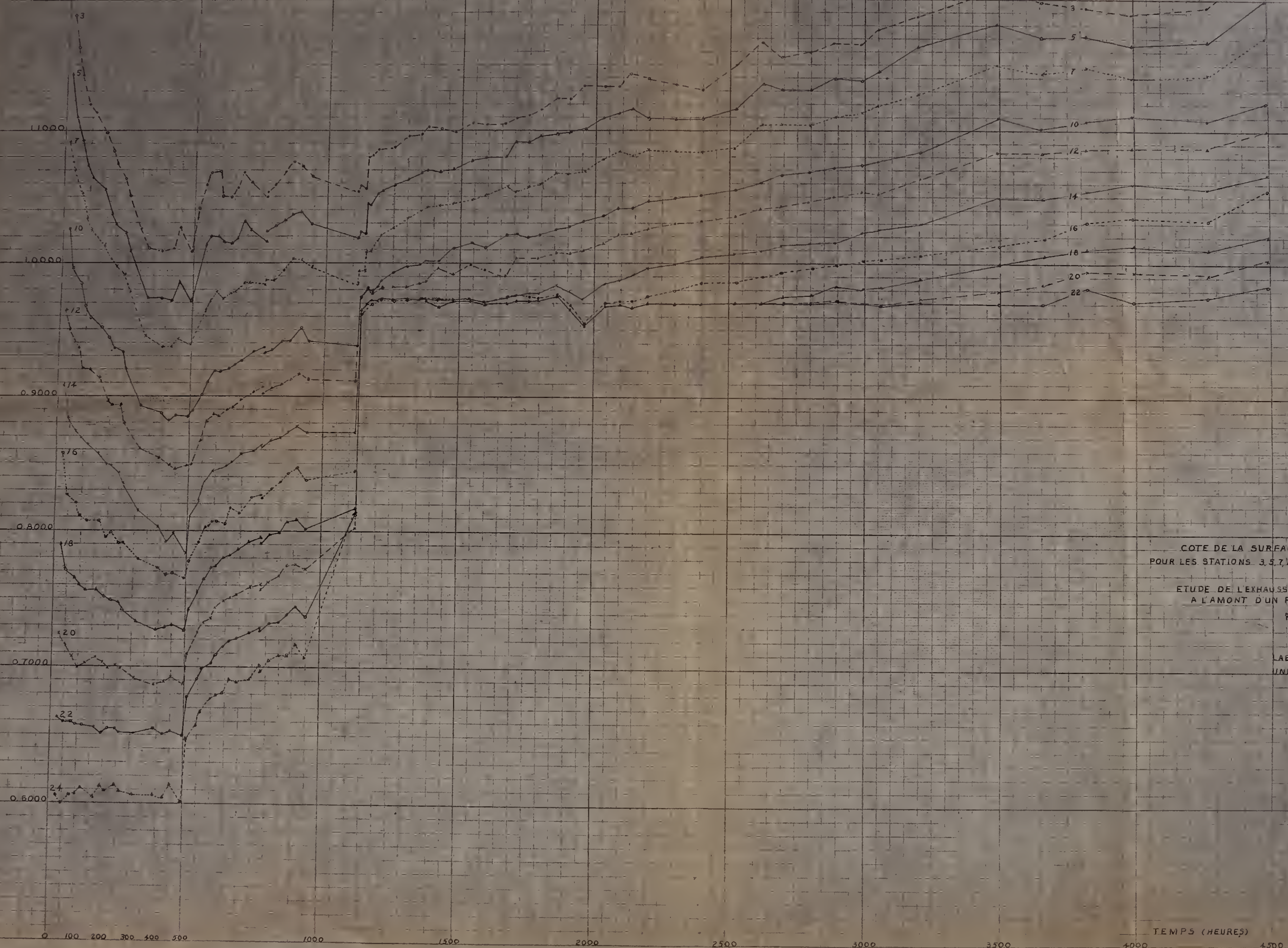
1500 hrs	.00280
1750 hrs	.00272
2000 hrs	.00280
2250 hrs	.00288
2500 hrs	.00264
2750 hrs	.00256
3000 hrs	.00276
3250 hrs	.00276
3500 hrs	.00280
3750 hrs	.00272
4250 hrs	.00276

APPENDICE 2: FIGURES NOS: 6 et 10 à 19



PROFIL EN LONG DE LA RIVIERE WASHITA
FIGURE NO. 6
ELEVATION (PIEDS)
690
680
670
660
650
640
630
620
610
600
590
580
570
560
1961
1954
1948
ELEVATION NORMALE DU RESERVOIR
THALWEG ORIGINAL
1944 - 1943 - 1940
SECTION: 22Q 22P 22O 22N 22M 22L 22K 22J 22I 22H 22G 22F 22E 22D 22B 22A 22 21 20 19 18 17 16 15 14
100 95 90 85 80 75 70 65 60 55 50 48 46 44 42 40 38 36 34 32 30 28
DISTANCE EN AMONT DE L'EMBOUCHURE (MILLE DE RIVIERE)


COTE DE LA SURFACE (PIEDS)
1.2000
1.1000
1.0000
0.9000
0.8000
0.7000
0.6000
0
100
200
300
400
500
1000
1500
2000
2500
3000
3500
4000
4500
TEMPS (HEURES)
2
4
6
8
9
11
13
15
17
19
21
23
25
COTE DE LA SURFACE VS TEMPS
POUR LES STATIONS 2, 4, 6, 8, 9, 11, 13, 15, 17, 19, 21, 23, 25
ETUDE DE L'EXHAUSSEMENT DU LIT
A L'AMONT D'UN RESERVOIR
FIGURE NO. 10
LABORATOIRE D'HYDRAULIQUE
UNIVERSITE DE L'ALBERTA


COTE DE LA SURFACE
(PIEDS)
1.2000
1.1000
1.0000
0.9000
0.8000
0.7000
0.6000
3
5
7
10
12
14
16
18
20
22
24
0
100
200
300
400
500
1000
1500
2000
2500
3000
3500
4000
4500
TEMPS (HEURES)
COTE DE LA SURFACE VS TEMPS
POUR LES STATIONS 3, 5, 7, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 24.
ETUDE DE L'EXHAUSSEMENT DU LIT
A L'AMONT D'UN RESERVOIR :
FIGURE NO. : 11
LABORATOIRE D'HYDRAULIQUE
UNIVERSITE DE L'ALBERTA

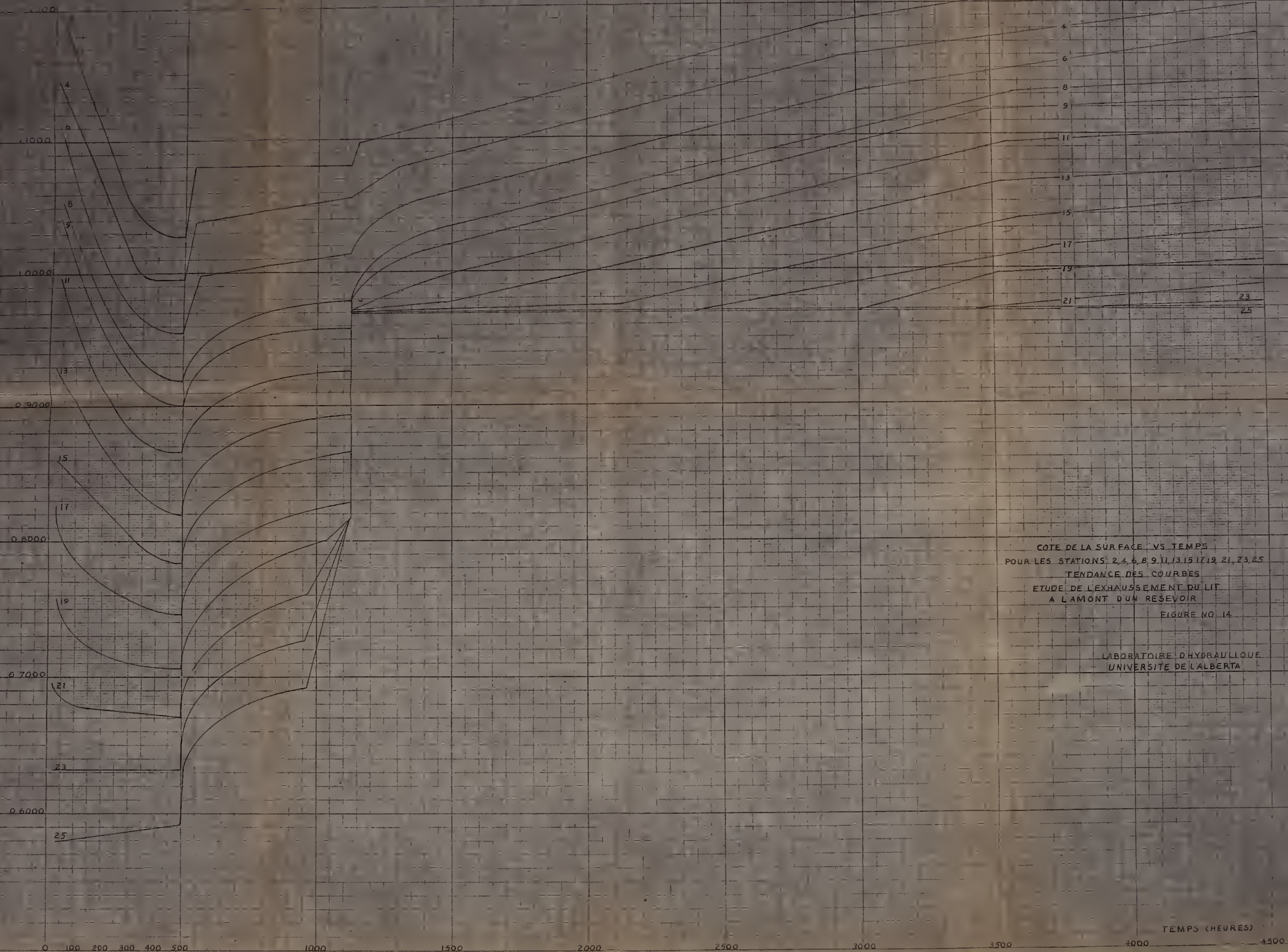

COTE DU LIT (PIEDS)
TEMPS (HEURES)
COTE DU LIT VS TEMPS
POUR LES STATIONS 2,4,6,8,9,11,13,15,17,19,21,23,25
ETUDE DE L'EXHAUSSEMENT DU LIT A L'AMONT D'UN RESERVOIR
FIGURE NO: 12
LABORATOIRE D'HYDRAULIQUE
UNIVERSITE DE L'ALBERTA



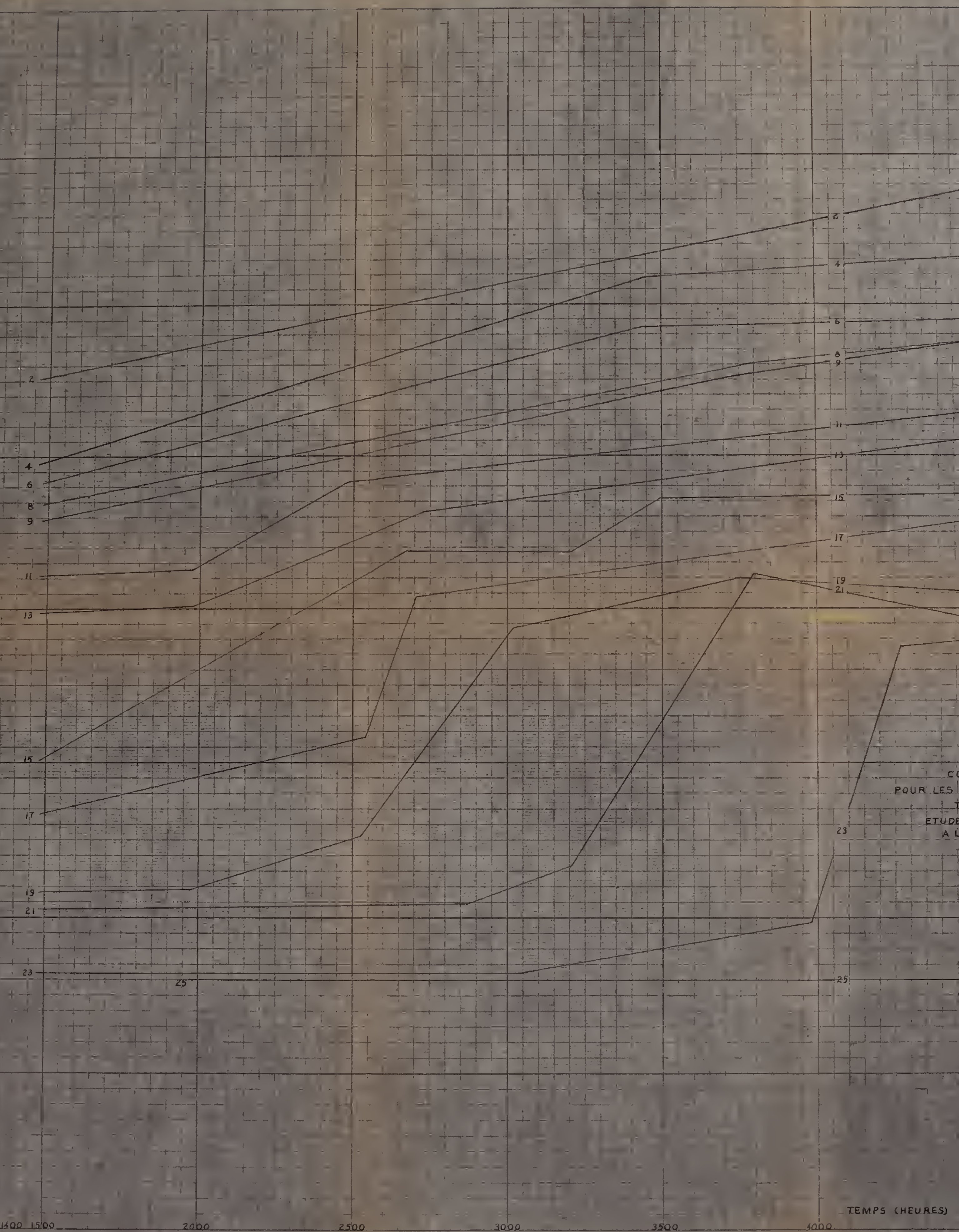
COTE DU LIT VS TEMPS
POUR LES STATIONS: 3, 5, 7, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 24

ETUDE DE L'EXHAUSSEMENT DU LIT
A L'AMONT D'UN RESERVOIR
FIGURE NO 13

LABORATOIRE D'HYDRAULIQUE
UNIVERSITE DE L'ALBERTA

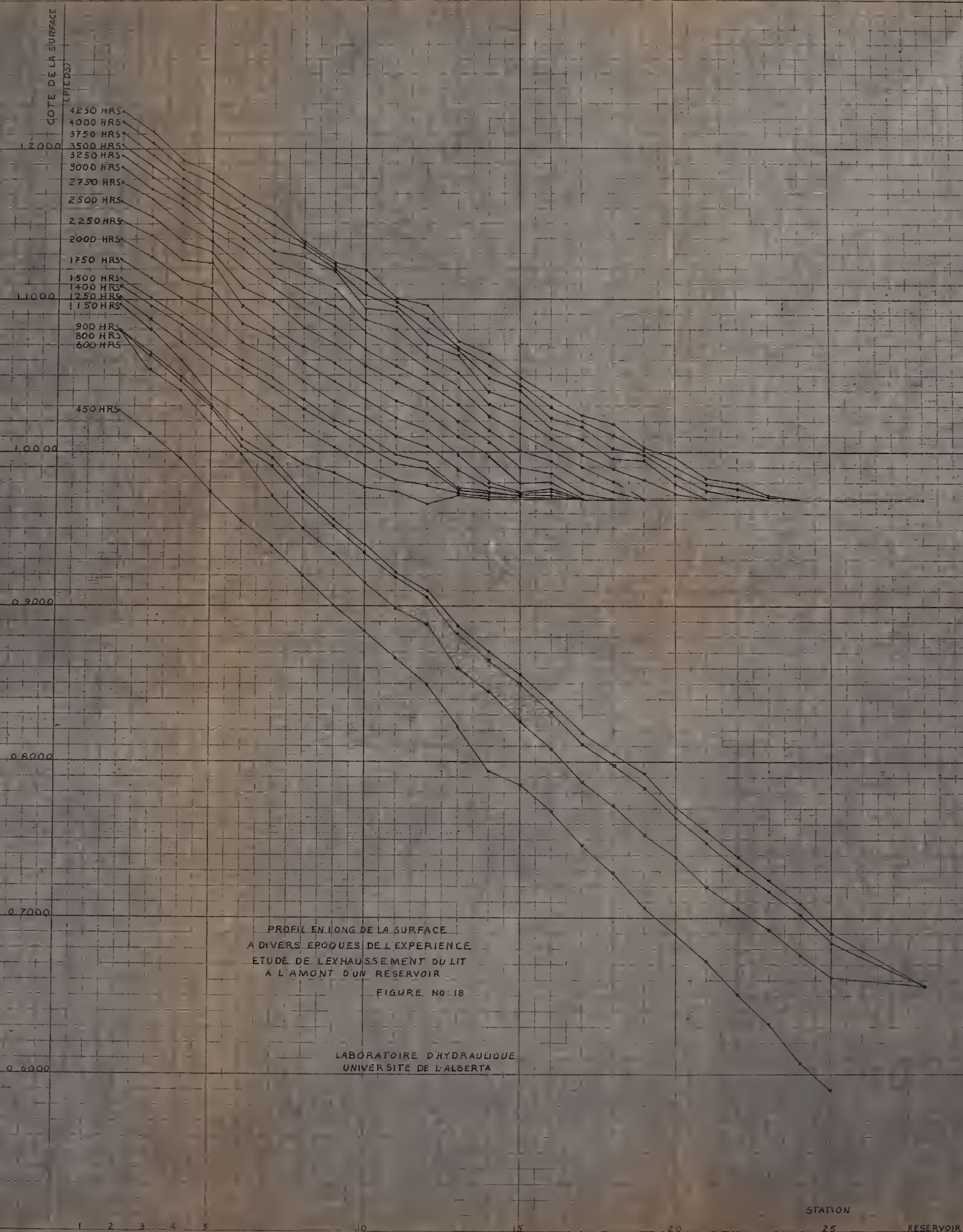


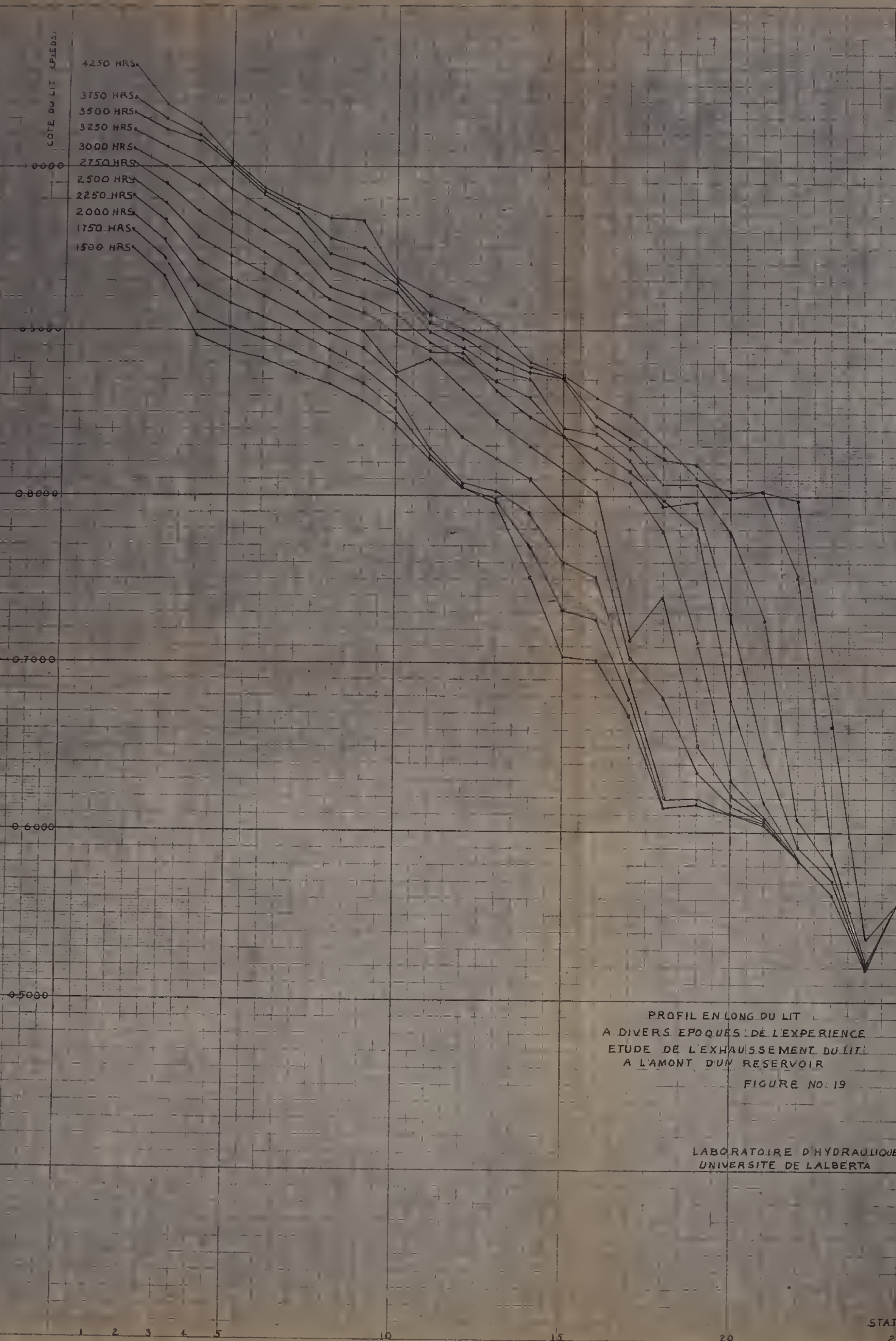
COTE DE LA SURFACE VS TEMPS
POUR LES STATIONS 2,4,6,8,9,11,13,15,17,19,21,23,25
TENDANCE DES COURBES
ETUDE DE L'EXHAUSSEMENT DU LIT
A L'AMONT D'UN RESEVOIR
FIGURE NO. 14
LABORATOIRE D'HYDRAULIQUE
UNIVERSITE DE L'ALBERTA
TEMPS (HEURES)
0
100
200
300
400
500
1000
1500
2000
2500
3000
3500
4000
4500
1.0000
0.9000
0.8000
0.7000
0.6000
2
4
6
8
9
11
13
15
17
19
21
23
25



COTE DU LIT VS TEMPS
POUR LES STATIONS : 2, 4, 6, 8, 9, 11, 13, 15, 17, 19, 21, 23, 25.
TENDANCE DES COURBES
ETUDE DE L'EXHAUSSEMENT DU LIT
A L'AMONT D'UN RESERVOIR
FIGURE NO. 16

LABORATOIRE D'HYDRAULIQUE
UNIVERSITE DE L'ALBERTA


COTE DE LA SURFACE (PIEDS)
4250 HRS
4000 HRS
3750 HRS
3500 HRS
3250 HRS
3000 HRS
2750 HRS
2500 HRS
2250 HRS
2000 HRS
1750 HRS
1500 HRS
1400 HRS
1250 HRS
1150 HRS
900 HRS
800 HRS
600 HRS
450 HRS
1.2000
1.1000
1.0000
0.9000
0.8000
0.7000
0.6000
PROFIL EN LONG DE LA SURFACE
A DIVERS EPOQUES DE L'EXPERIENCE
ETUDE DE L'EXHAUSSEMENT DU LIT
A L'AMONT D'UN RESERVOIR
FIGURE NO: 18
LABORATOIRE D'HYDRAULIQUE
UNIVERSITE DE L'ALBERTA
STATION
1
2
3
4
5
10
15
20
25
RESERVOIR


COTE DU LIT (PIEDS)
4250 HRS
3750 HRS
3500 HRS
3250 HRS
3000 HRS
2750 HRS
2500 HRS
2250 HRS
2000 HRS
1750 HRS
1500 HRS
0.8000
0.7000
0.6000
0.5000
1
2
3
4
5
10
15
20
25
STATION
PROFIL EN LONG DU LIT
A DIVERS EPOQUES DE L'EXPERIENCE
ETUDE DE L'EXHAUSSEMENT DU LIT
A L'AMONT D'UN RESERVOIR
FIGURE NO: 19
LABORATOIRE D'HYDRAULIQUE
UNIVERSITE DE L'ALBERTA